

- Digitalisierte Fassung im Format PDF -

Das Mikroskop

Carl Nägeli
Simon Schwendener

Die Digitalisierung dieses Werkes erfolgte im Rahmen des Projektes BioLib (www.BioLib.de).

Die Bilddateien wurden im Rahmen des Projektes Virtuelle Fachbibliothek Biologie (ViFaBio) durch die Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg (Frankfurt am Main) in das Format PDF überführt, archiviert und zugänglich gemacht.

DAS

Lg 26450

MIKROSKOP

THEORIE UND ANWENDUNG DESSELBEN

VON

CARL NÄGELI,

PROFESSOR IN MÜNCHEN

UND

S. SCHWENDENER,

PROFESSOR IN BASEL.

ZWEITE VERBESSERTE AUFLAGE.

MIT 302 HOLZSCHNITTEN.

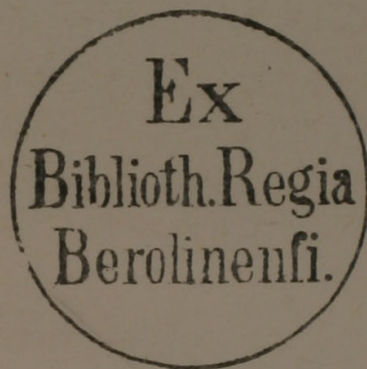


LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1877.

Das Recht der Uebersetzung in die französische und englische Sprache
hat sich der Verleger vorbehalten.



V o r w o r t.

Die gegenwärtige zweite Auflage dieses Buches ist in einzelnen Theilen umgearbeitet, in andern vervollständigt und verbessert. Eine Umarbeitung haben erfahren: 1) die Abschnitte, welche von der mikroskopischen Bilderzeugung, vom Einfluss des Oeffnungswinkels, von der auflösenden oder penetrirenden Kraft etc. handeln, — Fragen, welche in den letzten Jahren durch die Untersuchungen Abbe's in ein neues Stadium getreten sind; 2) diejenigen Kapitel der Morphologie, welche das Scheitelwachsthum der höhern Gewächse und die Bildung seitlicher Organe betreffen; hier war es nothwendig, die Zellkörper ohne erkennbare Scheitelzelle gesondert zu betrachten und die in neuerer Zeit hierüber aufgestellten Ansichten genauer ins Auge zu fassen. Grössere Zusätze über wesentlich neue, mit den eben berührten nicht zusammenhängende Fragen finden sich sowohl in der Theorie des Mikroskops (das Spectralocular, p. 39—41; zur Lichtstärke des Mikroskops, p. 76—78), als namentlich auch in der Mikrophysik und Morphologie. In ersteren Abschnitt wurde unter Anderm aufgenommen: eine kurze Erörterung über Tragmodul, Elasticitätsmodul und Maass des Biegemomentes (p. 410—412), desgleichen über Krümmung, Drehung, Winden (p. 414—420), über schlängelnde Bewegungen (p. 420—422), spectralanalytische Untersuchungen (p. 436—440). Von morphologischen Fragen, welche neu hinzugekommen sind, erwähnen wir: die verschie-

denen Arten der Zellbildung (p. 552—554), das mechanische System (p. 583—586), Stellungsverhältnisse der Blätter bei *Se-laginella* (p. 603—608), Beobachtung kleinster Organismen (p. 644—646). — Wenig oder fast gar nicht verändert sind die Abschnitte über die mikroskopische Technik und die Polarisationserscheinungen.

Durch die angedeuteten Aenderungen und Zusätze hat das Buch, obschon der Umfang wegen des engern Druckes fast unverändert geblieben, an Inhalt erheblich gewonnen, und die Zahl der Abbildungen ist von 276 auf 302 gestiegen.

Das Manuscript zu dieser Auflage war im December 1875 druckfertig; seitdem erschienene Veröffentlichungen konnten daher nicht mehr berücksichtigt werden.

Die Verfasser.

Inhaltsübersicht.

Erster Abschnitt:

Theorie des Mikroskops.

	Seite
I. Einleitung	4
Optische Wirkung des Mikroskops. Gesetze der Lichtbrechung in Linsen und Linsensystemen.	
II. Analytische Bestimmung des Strahlenganges in brechenden Systemen	8
Object- und Bildpunct. Hauptebenen und Brennebenen. Combination brechender Systeme.	
III. Bestimmung der Abstände correspondirender Bildpuncte von der Axe bei beliebiger Neigung der Strahlen	49
IV. Die Cardinalpuncte des Mikroskops	22
1. Das Objectiv	22
2. Das Ocular, 28. a. Das Campanische Ocular, 28. b. Das Ramsden'sche Ocular, 35. c. Das aplanatische und orthoskopische Ocular, 36. d. Das bildumkehrende Ocular, 37. e. Das Spectralocular, 39.	
3. Die Mittel zur Theilung der Strahlenbündel. Multoculare und stereoskopische Mikroskope	44
V. Die chromatische und die sphärische Aberration	43
1. Die chromatische Aberration. Bedingungen der Achromasie.	43
2. Die sphärische Aberration. Folgen derselben im Objectiv und im Ocular	45
VI. Vom Einfluss der Deckgläschen	57
VII. Die Ebenung des Gesichtsfeldes	59
Wesen und Ursache der sogenannten Krümmung des Gesichtsfeldes. Beseitigung derselben durch aplanatische und gewöhnliche Oculare.	
VIII. Das Centriren der Linsensysteme	69
Wirkung einer fehlerhaften Centrirung. Ortsveränderungen des Bildes beim Drehen der Objectivlinsen.	
IX. Die Lichtstärke des Mikroskops	74
X. Das optische Vermögen des Mikroskops	79
1. Definirende und penetrirende Kraft nach frühern Autoren	80
2. Die Bedeutung des Oeffnungswinkels. Dieselbe liegt nicht etwa im Einfluss auf den dioptrischen Strahlengang, sondern in der spezifischen Function mit Bezug auf die in der Objectebene abgelenkten Strahlen, durch deren Interferenz das Structurbild zu Stande kommt	82
3. Die Verschmelzung des Interferenzbildes mit dem dioptrischen	86
4. Ueber das Verhältniss zwischen Brennweite und Oeffnungswinkel	88

	Seite
XI. Die Diffractionswirkung der Linsenöffnung	90
XII. Von der Beleuchtung	92
1. Beleuchtung mit durchfallendem Licht. Wirkung des Spiegels und der Beleuchtungslinsen bei begrenzter und unbegrenzter Lichtquelle	92
2. Beleuchtung mit auffallendem Licht	99

Zweiter Abschnitt:

Die mechanische Einrichtung des Mikroskops.

I. Allgemeine Regeln für die Construction der Stative	104
Die Einstellung. Der Objecttisch. Der Beleuchtungsapparat. Die Blendungen. Das Fussgestell. Länge und Stellung der Mikroskopröhre.	
II. Die Stative der neuern Optiker	110
Hartnack, Nacet, Chevalier, Plössl u. Co., Schieck, Bénèche, Zeiss, Leitz, Seibert u. Krafft, G. u. S. Merz, Smith, Beck und Beck.	

Dritter Abschnitt: •

Von der Prüfung des Mikroskops.

I. Prüfung des optischen Vermögens im Allgemeinen	126
1. Absolutes Unterscheidungsvermögen, 126. Drahtnetzbildchen als Testobjecte, 127. Organische Probeobjecte, 132. Nobert's Probetäfelchen, 139.	
2. Relatives Unterscheidungsvermögen	140
3. Definitionsvermögen	147
II. Prüfung der sphärischen Aberration	149
III. Prüfung der chromatischen Aberration	157
IV. Prüfung der Ebenung des Gesichtsfeldes	166
V. Prüfung der Centrirung	168
VI. Bestimmung des Oeffnungswinkels.	170
Theoretische Grundlage. Prüfungsmethoden.	
VII. Bestimmung der Vergrößerung und der Brennweite	176
1. Die Vergrößerung	176
2. Die Brennweite	179
VIII. Bestimmung der Cardinalpuncte	181

Vierter Abschnitt:

Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung.

I. Kugelige und cylindrische Objecte	188
1. Luftblasen in Wasser, 188. 2. Oeltropfen in Wasser, 198. 3. Hohlkugel und Hohlcylinder, 202.	
II. Objecte von unregelmässiger Form	212
1. Membranen mit kleinen Vertiefungen oder Löchern, 212. 2. Membranen mit einer ebenen und einer wellenförmigen Grenzfläche, 214. 3. Membranen mit parallel-wellenförmigen Grenzflächen, 215. 4. Abwechselnd dichte und wasserreiche Schichten, 216. 5. Erhabenheiten und Vertiefungen im Gegensatz zu dichten und weichen Schichten, 216. 6. Das Sehen durch stereoskopische binoculäre Mikroskope, 217.	
III. Interferenzerscheinungen	220
A. Im Mikroskop	220
1. Abbildung feiner Structuren der Objecte durch Interferenz, 220.	

2. Reflexion des Lichtes an kleinen Kügelchen, Körnchen, feinen Fäden etc. und dadurch bedingte Interferenzerscheinungen, 230. 3. Interferenzlinien, welche die Entfernung einer wenig ausgedehnten Lichtquelle über die Objectdistanz hinaus hervorruft, 232.	
B. Interferenzen in der Einstellungsebene	233
4. Interferenz des directen Lichtes mit reflectirtem, 233. 2. Interferenz des gebrochenen Lichtes mit reflectirtem, 236. 3. Interferenz des gebrochenen und directen Lichtes, 237. 4. Interferenzfarben dünner Blättchen, 238.	
IV. Die schiefe Beleuchtung	240
V. Die Bewegungserscheinungen	244
Scheinbare und wirkliche Geschwindigkeit. Scheinbares Schlängeln schraubenförmiger Körper. Rechts- und Linksdrehung.	
VI. Die Niveaudifferenzen	246

Fünfter Abschnitt:

Das einfache Mikroskop und das Bildmikroskop.

I. Das einfache Mikroskop	248
A. Allgemeine Grundsätze	248
1. Oeffnung der wirksamen Lichtkegel, 249. 2. Lichtstärke, 250. 3. Krümmung des Gesichtsfeldes, 251. 4. Die Vergrößerungszahl, 252. 5. Die Grösse des Gesichtsfeldes, 252.	
B. Die optische Einrichtung	253
Loupe, Doublets und Triplets.	
C. Die mechanische Einrichtung	257
Loupenträger und Stative der neuern Optiker.	
II. Das Bildmikroskop	261
Kurze Notiz über die Einrichtung desselben.	

Sechster Abschnitt:

Mikroskopische Technik.

I. Der Gebrauch des Mikroskops	263
1. Die Beleuchtung, 263. 2. Die Wahl der Vergrößerung, 266. 3. Vom Gebrauch der Deckgläser, 266. 4. Die Behandlung des Instruments, 268. 5. Schonung des Sehvermögens, 269. 6. Der Arbeitstisch, 269.	
II. Herstellung und Behandlung der Präparate	270
Das Zergliedern der Objecte. Anfertigung von Durchschnitten. Entfernung der Luft. Quetschen der Präparate. Beobachtung lebender Zellen in der feuchten Kammer.	
III. Die Aufbewahrung der mikroskopischen Präparate	276
Aufzählung der gebräuchlichen Medien: Luft, Canadabalsam, Glycerin etc. Herstellung eines hermetischen Verschlusses. Etikettirung, Einrichtung der Sammlung.	
IV. Das Messen mikroskopischer Objecte	283
1. Das Glasmikrometer. Bestimmung des relativen Werthes der Mikrometertheilungen. Fassung und Einrichtung der Mikrometer. Genauigkeit der Messungen	283
2. Das Schraubenmikrometer. Einrichtung desselben. Das Mohl'sche Ocularschraubenmikrometer. Bezeichnung der mikrometrischen Grössen. Tabelle zur Reduction der gebräuchlichen Maass-einheiten	286
3. Bestimmung von Winkelgrössen. Das Goniometer. Fehlerquellen	290

	Seite
V. Das Zeichnen mikroskopischer Objecte	291
Apparate zur genauen Wiedergabe der Umrisse. Ausführung der Zeichnungen. Willkürlichkeiten bei der Darstellung mikroskopischer Objecte. Mikrophotographie.	

Siebenter Abschnitt:

Die Polarisationserscheinungen.

I. Einrichtung des Polarisationsmikroskops	299
1. Der Polarisator. Das Nicol'sche Prisma. Das Foucault'sche Prisma. Prisma nach Hartnack und Prazmowski. Turmaline und Herapathitkrystalle. Stellung des Polarisators zur Lichtquelle . . .	299
2. Der Analysator. Die verschiedenen Stellungen desselben. Analysator mit Theilkreis	305
3. Der Apparat zum Drehen der Objecte	309
II. Das Verhalten anisotroper krystallähnlicher Körper, einzeln beobachtet.	313
1. Das Elasticitätsellipsoid	313
2. Die Polarisationserscheinungen in ihren Beziehungen zum Elasticitätsellipsoid. Die wirksame Elasticitätsellipse, Form- und Stellungsveränderungen derselben beim Drehen des Objectes nach verschiedenen Seiten. — Elasticitätsverhältnisse der optisch einaxigen Medien	316
3. Bestimmung der Elasticitätsachsen. Bestimmung der Axenrichtungen. Bestimmung der relativen Grösse der Axen. Anwendung der Gypsplättchen etc. Deutung der Interferenzfarben, Tabelle der Additions- und Subtractionsfarben für eine Reihe von Combinationen	322
III. Das Verhalten zweier übereinander liegender krystallähnlicher Körper, deren Schwingungsebenen sich schiefwinklig kreuzen	332
Charakter der Interferenzfarbe für verschiedene Werthe des Kreuzungswinkels. Combination der fest verbundenen, gekreuzten Krystallplatten mit einem Gypsplättchen: Additions- und Subtractionsfarben, Farben der orthogonalen Consecutiv- und Alternativstellung. Umkehrung des Problems: Bestimmung der Elasticitätsellipsen zweier sich kreuzender Platten durch Beobachtung der Polarisationsfarben.	
IV. Das Verhalten cylindrischer und kugeligter Objecte mit concentrisch gruppirten anisotropen Elementen	339
1. Cylindrische Objecte. Wirkung der Querschnitte, der Längsschnitte und der Längsansichten. Zusammenstellung der Combinationen, welche mit Rücksicht auf die Interferenzfarben der zusammengehörigen Quer- und Längsansichten vorkommen können, und Folgerungen daraus. Einzelne besondere Fälle. Bestimmung der optischen Axen	340
2. Kugelige und ovale Objecte, 350. a) Objecte mit gleichen Durchmesser, 351. b) Objecte mit einer Axe, 353.	
V. Ueber einige Eigenthümlichkeiten des Baues organisirter Substanzen	354
Die doppelbrechende Eigenschaft der Substanz ist durch die Natur der Micellen, nicht durch deren Anordnung bedingt.	
VI. Zusammenstellung von Beispielen	356
A. Cylindrische Objecte, 357. B. Kugelige Objecte, 359. C. Discokrystalle von Amylodextrin, 359.	
VII. Ueber die Anwendung des Nörrenberg'schen »Polarisationsmikroskops«	360

Achter Abschnitt:

Mikrophysik.

I. Flüssige Körper	362
1. Erkennung und Unterscheidung flüssiger Körper	362
2. Die Capillaritätserscheinungen. Maassbestimmung. Capillarattraction in mikroskopisch feinen Röhrchen und in den Micellarinterstitien der Membranen. Zusammenwirken der Capillarität und der Verdunstung in feinen Capillarsystemen	365
3. Spannung der Gase und Flüssigkeiten. Spannungsdifferenzen zwischen den Flüssigkeiten und den darin enthaltenen Luftbläschen in Folge der Capillaranziehung. Abnahme der Spannungen in Capillarsystemen von unten nach oben. Ausgleichung der Spannungen durch permeable Membranen. Geringe Grösse der in Geweben vorkommenden Spannungen. Spannung durch Endosmose. Formveränderung der Zellen in Folge der Zu- oder Abnahme der Spannungen	369
4. Ungleiche Concentration der Lösung im Tropfen des Präparats	375
5. Bewegungen in einer Flüssigkeit, welche durch ungleiches specifisches Gewicht verursacht werden	376
6. Das Saftsteigen. Die Gesamtarbeit der Capillarität und der Endosmose reicht unter den gegebenen Verhältnissen nur bis zu einer Höhe von einigen Metern. Sitz der übrigen motorischen Kräfte	378
7. Strömungen durch Capillarröhren und Membranen. Formeln von Poiseuille. Geringe Permeabilität der Gewebe	384
8. Die Plasmaströmungen. Verschiedene Ansichten. Der Strömungsvorgang in den Staubfadenhaaren von Tradescantia; die Contractilitätstheorie. Zitterbewegung (Molecularbewegung). Mechanische Gesichtspunkte	388
II. Feste Körper	396
1. Das Erkennen des Aggregatzustandes	396
2. Elasticität, Weichheit, Dehnbarkeit. Ermittlung der Eigenschaften eines Objects. Verhalten des Primordialschlauches und der Zellmembranen. Verhalten der Gewebe; die Factoren ihrer Elasticität und Biegefestigkeit. Gleichgewichtszustand entgegengesetzt gespannter Gewebe, die zu einem Ganzen verbunden sind. Beziehungen zwischen Elasticität und Biegegrösse. Tragvermögen, Elasticitätsmodul, Maass des Biegemomentes. Beziehungen zwischen dem hydrostatischen Druck des Zellsaftes und der dadurch bewirkten Spannung der Membran	396
3. Krümmung, Drehung, Winden. Mechanische Bedingungen dieser Vorgänge. Die Bewegungen der spiralig gewundenen Oscillarien	414
4. Innerer Bau der festen Körper. Organisirte und unorganisirte Körper. Verschiedenheiten in Betreff der Anordnung der Moleküle. Wesen der Organisation	422
5. Cohäsion und Adhäsion	426
6. Quellung und Diosmose. a) Arten der Quellung. b) Absorption von Gasen in quellungsfähigen Körpern. c) Menge und Vertheilung der Imbibitionsflüssigkeit. d) Quellung in Folge mechanischer Eingriffe. e) Schichtung und Streifung. f) Diosmose	427
III. Licht	436
1. Spectralanalytische Untersuchungen	436
2. Bestimmung des Brechungscoefficienten. Methoden von Brewster, Moser, Bertin und Harting. Kritik der Hartingschen Formel. Bestimmung des Brechungscoefficienten bei kugeligen und cylindrischen Gebilden	440
3. Die Durchleuchtung der Körper	447
4. Einfluss des Lichtes auf Vegetationsprocesse	448
IV. Wärme	451
1. Krystallbildungen bei dem Gefrieren	451

	Seite
2. Das Gefrieren der Gewebe.	434
3. Veränderung der Zellhäute beim Aufthauen.	436
4. Einfluss der Temperatur auf die Vegetationsprocesse	458
V. Elektrizität	459
1. Die wahre Pflanzenelektrizität.	459
2. Die Wirkungen der Elektrizität auf den Zellinhalt. Apparate zur Beobachtung derselben. Art der Einwirkung galvanischer Ströme auf das Plasma	464
 Neunter Abschnitt: Mikrochemie.	
I. Allgemeine Regeln	466
Steigerung der Concentration anzuwendender Reagentien. Herstellung einer Strömung in der Beobachtungsflüssigkeit. Apparate zu Beobach- tungen bei höherer Temperatur.	
II. Aufzählung der Reagentien	472
Aetzkali, wässrige und weingeistige Iodlösung, Iod gelöst in einer Iod- verbindung, concentrirte Schwefelsäure, Kupferoxydammoniak, etc. etc.	
III. Art des Vorkommens chemischer Verbindungen	477
IV. Krystallographische Untersuchungen	478
Mikroskopische Bestimmung der Krystallformen. Formeln und Con- structionen, welche vorzugsweise bei mikroskopischen Beobachtungen Anwendung finden. Krystallbestimmungen nach Zenger und Wert- heim.	
V. Spezielle Betrachtung der wichtigsten chemischen Verbindungen	486
1. Kalk und Kieselerde. Vorkommen und Nachweisung dersel- ben. Herstellung der Kieselskelette, Ausziehen der Kieselerde. Bei- spiele von Verkieselungen	486
2. Pflanzensäuren und Gerbstoffe. Nachweisung der Gerb- stoffe. Art des Vorkommens derselben (Hartig's »Gerbmehl«). Die Bedeutung der Gerbstoffe nach Wigan d. Vorkommen und Verthei- lung im Gewebe. Gerbstoffe in absterbenden Zellen	490
3. Glycoside	494
4. Farbstoffe. a) Farbstoffe, welche eingelagert im Plasma vorkom- men (Chlorophyll, Phycochrom, Porphyrin, Phycoerythrin, Diatomin, Anthroxanthin). b) Farbstoffe, welche im Zellsaft gelöst vorkommen (Erythrophyll und Anthocyan). c) Farbstoffe, welche ursprünglich im Zellsaft gelöst sind und später von den Membranen gespeichert werden (Farbstoff von Rubia tinctorum, Farbstoffe der Farbhölzer, Farbstoff der Bérberiswurzeln, rother und violetter Farbstoff der Sa- menschalen). d) Farbstoffe, welche nur eingelagert in die Membran vorkommen. e) Farbstoffe, welche von den Zellen ausgeschieden wer- den und sich zwischen denselben oder an der freien Aussenfläche der Membranen ablagern	494
5. Pectinstoffe	507
6. Kohlenhydrate. a) Traubenzucker, Dextrin und Rohrzucker. b) Inulin. c) Stärke (Verhalten derselben gegen Iodlösungen, gegen das Speichelferment und gegen verdünnte Mineralsäuren; Ueberführung der Stärke in Amylodextrin und Dextrin). d) Die Cellulosearten (ihr Verhalten gegen Lösungs- und Quellungsmittel und gegen Iodsolution)	508
7. Proteinverbindungen. Nachweisung derselben im gelösten und ungelösten Zustand	525
VI. Mikrochemische Processe	528
Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern, Wachsbildung, Ausscheidung der Oxalsäure, Eiweissstoffe und Asparagin.	

Zehnter Abschnitt:

Morphologie.

I. Aufbau der organisirten Substanzen	532
1. Stärkekörner und Zellmembranen	532
a) Anatomie: Schichtung und Streifung, Verlauf der Schichten und Streifen, Anordnung der dichten und weichen Partien im Raume; Formverhältnisse der Membranen.	
b) Wachstum: Unterscheidung der Intussusception von der Apposition. Vermehrungsweise und Dickenwachsthum der Schichten, Flächenwachsthum der Membranen, ungleiches Wachsthumsvermögen verschiedener Zonen und Schichten.	
2. Aufbau der Plasmagebilde. Bläschennatur isolirter Gebilde, speziell der Chlorophyllkörner und Zellkerne. Spermatozoen und Proteinkrystalloide. Entstehung der Einschlüsse, ob durch innere Differenzirung oder durch Auflagerung	548
3. Zellbildung. Freie Zellbildung, Vollzellbildung, Theilung. Morphologische Auffassung des Theilungsvorganges	552
II. Die Gesetze der Zelltheilung	554
1. Zellreihen. Theilungsvermögen der Endzellen und Gliederzellen	556
2. Zellflächen. Theilungsvermögen der Randzellen und der Flächenzellen, peripherisches und intercalares Wachsthum. Scheitelwachsthum, Erkennung der Scheitelzelle und ihrer Theilungsweise. Uebergang von einem Scheitel mit mehreren Scheitelzellen zu einem solchen mit einer einzigen. Intercalare Theilungen	558
3. Zellkörper. a) Zellkörper, welche aus Zellflächen entstehen. b) Kleinere Zellgruppen, welche aus einer einzigen Zelle entstehen. c) Zellkörper mit peripherischem Wachsthum mittelst gleichwerthigen Randzellen, meist mit bogenförmig verlaufenden Zellreihen d) Zellkörper mit einer Scheitelzelle. e) Zellkörper ohne erkennbare Scheitelzelle (Phanerogamen), Kritik der Hanstein'schen Auffassung	565
III. Allgemeinere Wachsthumsgesetze	576
1. Wachsthumsvorgänge: Zellenbildung und Zellenausdehnung. Aufgabe des Beobachters. Wachsthum des Stammes von Cladostephus. Bildung langgestreckter Zellen in einem kurzzelligen Bildungsgewebe. Ausscheidung des Cambiums. Hervorhebung der wichtigsten Momente, welche bei Untersuchungen über das Wachsthum der höhern Pflanzen in Betracht kommen. Wachsthumsvorgänge und Differenzirungsprocesse im Cambium: Xylem und Phloem im Cambiumcylinder, im Cambiummantel und in isolirten Cambiumsträngen. Bildung neuer Cambiumringe im Verlaufe des Wachsthums (Phytolacca etc.), Vorkommen kleiner Cambiumstränge oder Cambiumringe innerhalb der gewöhnlichen und mit umgekehrter Orientirung (verschiedene Dicotylen). Beschaffenheit des aus dem Cambium entstandenen Dauergewebes. Die Dauergewebe im Allgemeinen: das ernährungsphysiologische und das mechanische System; biegungsfeste und zugfeste, druck- und schubfeste Systeme. Mechanisch wirk-same Parenchymzellen	576
2. Weitere Veränderungen im Gewebe. Entstehung von Lücken und Gängen, ob durch Auseinanderweichen der Zellen, durch Desorganisation von Zellen und Zellcomplexen oder durch Zer-reissen. Entstehung der Spaltöffnungen. Peridermbildung, Korkrindenzellen.	586
IV. Bildung seitlicher Organe	590
1. Morphologischer Ort der Entstehung. Verzweigung der Scheitelzelle und der Gliederzellen bei Zellreihen. Anlegung neuer Organe bei Zellflächen und Zellkörpern: die verschiedenen organbil-denden Gewebe	590
2. Morphologische Unterscheidung der Organe. Trichom, Thallom, Stamm, Blatt und Wurzel. Rangstufen der Organe. Zum	

	Seite
Begriff des Blattes (Anmerkung). Charakteristik der Organe bei Thal- lompflanzen (Vorkeim der Moose) und bei beblätterten Pflanzen: Mus- cineen, Gefässkryptogamen mit Scheitelzelle, Gefässpflanzen ohne erkennbare Scheitelzelle. Morphologische Deutung der Reproducti- onsorgane bei den Gefässpflanzen	394
3. Entwicklungsfolge und Stellungsverhältnisse. Die Or- gane entstehen entweder regellos, oder in Längsreihen, oder in Quirlen, oder in einer fortlaufenden Spirale oder Zickzack- linie. Stellungsverhältnisse der ausgebildeten Organe, Verschiebun- gen der ursprünglichen Anlagen (<i>Equisetum</i> , <i>Selaginella</i>). Beziehun- gen zwischen den Theilungsvorgängen im Scheitel von <i>Selaginella</i> und der »aufgelösten« Blattstellung am ausgewachsenen Stämmchen. Störungen der regelmässigen Spiralstellung durch Verschiebung der Organe in der Längsrichtung (<i>Fritillaria</i>). Verwachsungen	604
4. Ursachen der Stellung seitlicher Organe. Momente, welche bei der Anlegung in Betracht zu ziehen sind. Nachträgliche Verschiebung der Anlagen durch den gegenseitigen Druck	610
5. Systeme gleichnamiger Organe. Schematische Veranschau- lichung der hierher gehörigen Fragen. Unterscheidung des sympodi- alen Aufbaues vom monopodialen (<i>Callithamnion</i> , <i>Solaneen</i> , Wein- rebe, Kryptogamen). Allgemeine Gesichtspuncte, welche beim Aufbau der Organsysteme in Betracht kommen. Eintheilung der Organsysteme	612
V. Entwicklung der Fortpflanzungszellen	623
1. Bildungsweise der Fortpflanzungszellen. Bildung durch Metamorphose einer vegetativen Zelle, durch Vollzellbildung, durch besondere Zelltheilung, durch typische Theilung, durch Ausstülpung und Abschnürung, durch freie Zellbildung, durch Copulation, durch Befruchtung	624
2. Lage der keimbildenden Zellen. Sind es Endzellen oder Gli- derzellen, Randzellen oder Flächenzellen, Aussenzellen oder Innen- zellen? Gruppierung der reproductiven Zellen unter sich	626
3. Ursprung und Entwicklungsfolge der keimbildenden Zellen. Entstehung eines reproductiven Zellcomplexes aus einer oder aus mehreren ursprünglichen Zellen; Resorption reproducti- ver Zellen; Zellen mit einheitlichem Ursprung nur theilweise repro- ductiv. Entwicklungsfolge	629
4. Veränderungen benachbarter Zellen und Zellcomplexe. Modification des Inhalts und der Membranen; erhöhte Theilungsfähig- keit benachbarter Zellen	630
VI. Gefässbündeluntersuchungen	634
1. Behandlung der Präparate, 632. 2. Verlauf der Gefässbündel, 633. 3. Entwicklung der Gefässbündel, 639.	
VII. Beobachtung kleinster Organismen	644
Schizomyceten, Gährungspilze, Schimmelpilze. Unterscheidung dersel- ben von unorganischen Bildungen und von einander. Culturversuche. Vermehrungsfähigkeit der Spaltpilze.	

Erster Abschnitt.

Theorie des Mikroskops.

I.

Einleitung.

Das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop besteht im Wesentlichen 1 aus zwei collectiv brechenden Linsensystemen, wovon das eine dem Gegenstand zugekehrte als Objectiv, das andere dem Auge zugewendete als Ocular bezeichnet wird. Das Objectiv entwirft von dem Gegenstand, der sich etwas ausserhalb seiner Brennweite befindet, ein verkehrtes physisches Bild, welches durch das Ocular wie durch eine Loupe betrachtet wird. Hienach ist die Stellung des Bildes zum Ocular insofern bestimmt, als der gegenseitige Abstand stets etwas kleiner sein muss, als die Brennweite des letztern.

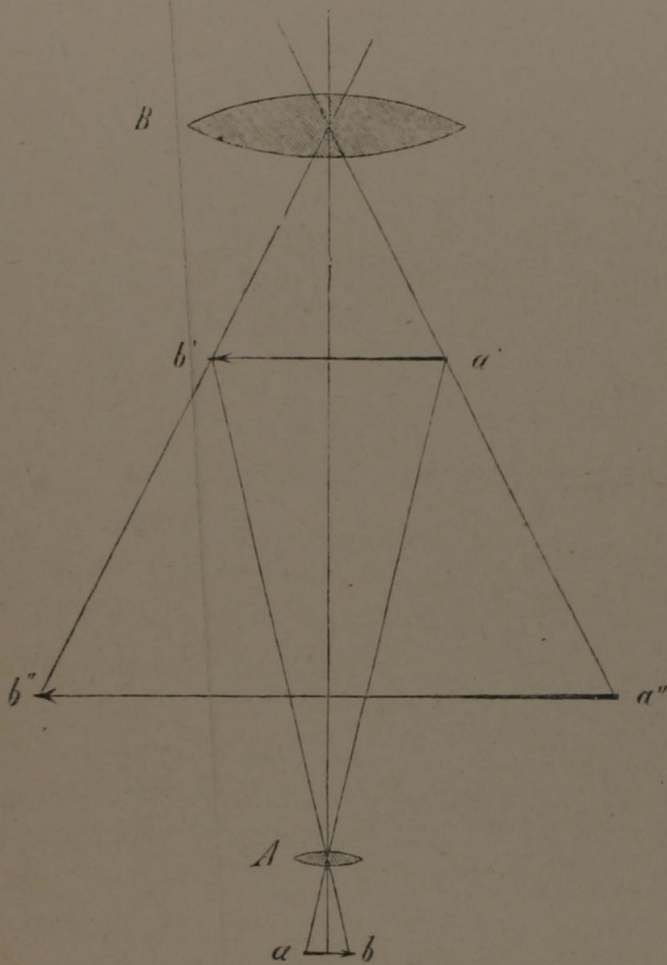
Die ganze optische Wirkung des Mikroskops lässt sich in umstehender Figur 1, welche den Vorgang der Bilderzeugung schematisch veranschaulichen soll, leicht übersehen. Die von dem Gegenstande ab ausgehenden Strahlen vereinigen sich nach dem Durchgang durch die Objectivlinse A zu dem wahren Bilde $b'a'$, dessen Lage und Grösse einzig und allein von der Brennweite der Linse und der Entfernung des Objectes abhängt. Bezeichnet man diese Grössen beziehungsweise mit f und p und den Abstand des Bildes mit p^* , so wird die gegenseitige Abhängigkeit bekanntlich durch die Gleichung ausgedrückt:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$$

Das Bild $b'a'$ verhält sich zur Ocularlinse B wie ein wirkliches Object, und da sein Abstand so geregelt wird, dass es der Linse etwas näher liegt als ihr Hauptbrennpunct, so kommt ein virtuelles Bild $b''a''$ zu Stande, welches von einem über B befindlichen Auge betrachtet werden kann. Bezeichnen wir mit p_1 und p_1^* die Abstände der Bilder $b'a'$ und $b''a''$ vom Ocular und mit f_1 die Brennweite des letztern, so besteht die Gleichung:

$$\frac{1}{p_1} - \frac{1}{p_1^*} = \frac{1}{f_1}$$

Sind Ocular und Objectiv in constanter Entfernung von einander und deren Brennweiten f und f_1 gegeben, so ist p_1^* durch p_1 , p_1 durch p^* , p^* durch



Figur 1.

p und folglich auch die erste Grösse p_1^* durch die letzte p bestimmt. Demzufolge ist es immer möglich, die Entfernung des Gegenstandes vom Objectiv so zu regeln, dass das schliessliche virtuelle Bild um die Weite des deutlichen Sehens vom Auge absteht.

Die Lineardimensionen des Bildes verhalten sich zu den entsprechenden des Gegenstandes, wie die bezüglichen Entfernungen von der bilderzeugenden Linse. Für das Objectiv wird dieses Verhält-

niss durch $\frac{p^*}{p}$, für das Ocu-

lar durch $\frac{p_1^*}{p_1}$ ausgedrückt;

die Combination beider im Mikroskop bedingt somit eine

Vergrösserung von $\frac{p^* p_1^*}{p p_1}$ Mal.

- 2 — Soll das vom Auge wahrgenommene Bild deutlich und hell sein, so müssen die Nachteile der sphärischen und chromatischen Aberration auf ein Minimum reducirt und die Oeffnungen der Linsen möglichst gross gemacht werden. Diese Bedingungen stehen nun aber insofern mit einander im Widerspruch, als bei einer einfachen Linse die Aberrationen um so stärker hervortreten, je grösser die Oeffnung derselben. Die Deutlichkeit lässt sich also nur auf Kosten der Helligkeit erzielen und umgekehrt. Dieser Uebelstand erreicht bei den älteren Mikroskopen einen solchen Grad, dass ihre Bilder, wenn sie einigermaassen befriedigend sein sollen, schon bei mässiger Vergrösserung äusserst lichtschwach ausfallen.

Erst in neuerer Zeit kam man auf die glückliche Idee, das Objectiv aus zwei bis drei annähernd achromatischen Doppellinsen zusammenzusetzen; man brachte es auch bald dahin, durch geschickte Combination derselben die beiden Aberrationen weit vollständiger zu beseitigen, als diess bei der früheren Einrichtung durch blosser Verkleinerung der Oeffnung irgend erreichbar wäre. Ueberdiess erzielte man dadurch den wichtigen Vortheil, dass — da die Herumlenkung der Strahlen zum physischen

Bilde sich auf mehrere Linsen vertheilt — die Krümmungen derselben bedeutend schwächer sein dürfen und demnach eine grössere Oeffnung zulassen.

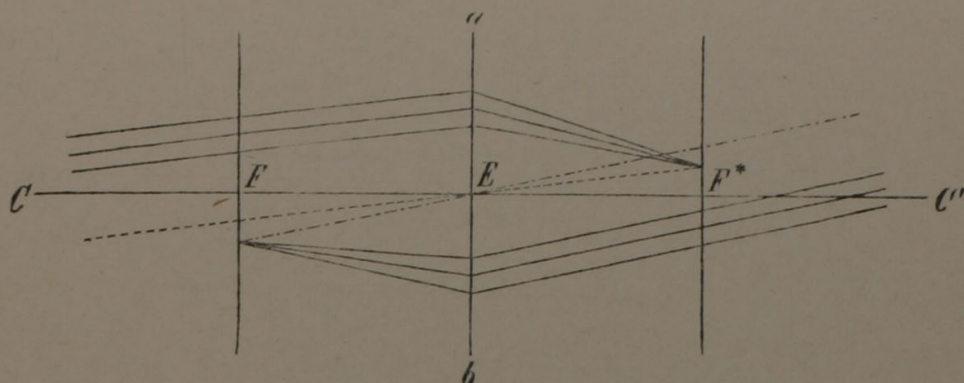
Wir werden in der Folge die Principien der Achromasie und des **3** Aplanatismus, soweit dieselben bei der Verfertigung der Mikroskope Anwendung finden oder wenigstens Anhaltspunkte bieten, noch näher erörtern; vorläufig wollen wir ein gewöhnliches, aus drei Doppellinsen bestehendes Objectiv, wie es aus der Hand des Optikers hervorgeht, als gegeben betrachten und den Gang der Lichtstrahlen durch dasselbe — vom Object bis zur Wiedervereinigung im physischen Bilde — verfolgen. Wir legen dabei die dioptrischen Untersuchungen von Gauss *) zu Grunde, worin die Gesetze der Lichtbrechung für ein centrirtes **) System beliebig vieler sphärischer Trennungsflächen, zwischen denen Medien mit verschiedenen Brechungscoefficienten liegen, entwickelt sind. Sind auch die Voraussetzungen, welche diesen Untersuchungen zu Grunde liegen, für den Strahlengang im Mikroskop in wesentlichen Punkten nicht zutreffend, so bieten die Ergebnisse derselben doch immerhin eine vortreffliche und mit den Thatsachen im Allgemeinen harmonisirende Uebersicht der vorkommenden Brechungsverhältnisse. In einem folgenden Capitel sollen die Gaussischen Entwicklungen selbst mit einigen Kürzungen und Abänderungen, welche, wie wir glauben, Nichtmathematikern das Verständniss erleichtern, mitgetheilt werden; hier mag es genügen, wenn wir die wichtigsten Ergebnisse derselben zusammenfassen und gestützt darauf die Unterschiede und Analogieen, welche zwischen einer unendlich dünnen Linse und einem beliebigen Linsensystem bestehen, hervorheben.

Eine unendlich dünne Sammellinse, d. h. eine solche, deren Dicke **4** gegen die Krümmungsradien vernachlässigt werden darf, hat bekanntlich die Eigenschaft, Strahlen, die nach ihrem optischen Mittelpunkt zielen, ungebrochen durchgehen zu lassen und parallel auffallende in einem Punkte, dem Hauptbrennpunkte, zu vereinigen. Ist also ab (Fig. 2) die gedachte Linse, CC' ihre Axe, d. h. die Linie, in welcher die Krümmungscentra liegen, und E der optische Mittelpunkt; sind ferner F und F^* zwei um die Brennweite von der Linse abstehende Punkte und in denselben senkrecht zur Axe zwei Ebenen errichtet, die wir mit den nämlichen Buchstaben bezeichnen wollen: so werden Strahlen, die von einem Punkt der Ebene F ausgehen, die Linse parallel verlassen, und umgekehrt Strahlen, welche unter sich parallel einfallen, in der Ebene F^* sich in einem Punkt vereinigen. Jedem einfallenden Strahlenkegel, dessen Spitze in der Ebene F liegt, entspricht ein ausfahrender Strahlencylinder, und jedem einfallenden

*) C. F. Gauss, Dioptrische Untersuchungen. Abhandlungen d. Göttinger Gesellschaft I, 4843.

**) Centrirt heisst ein System sphärischer Flächen, wenn die Mittelpunkte derselben in einer geraden Linie liegen.

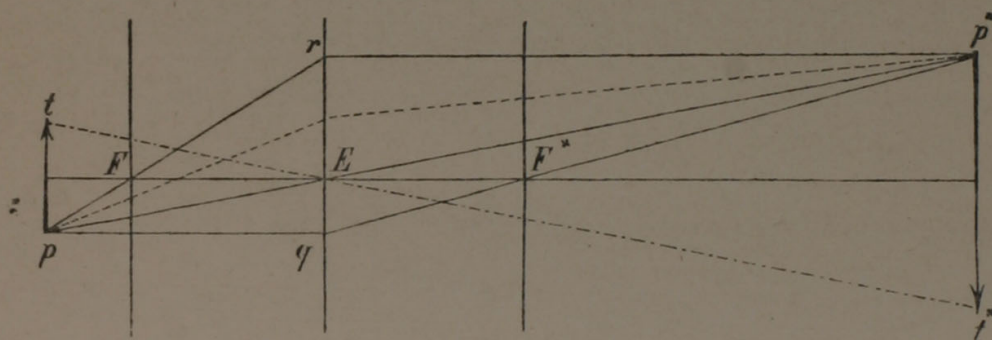
Strahlencylinder ein ausfahrender Strahlenkegel, dessen Spitze in die Ebene F^* fällt. Sind die unter sich parallelen Strahlen überdiess mit der



Figur 2.

Axe parallel, so kommt ihr Durchschnitts- oder Vereinigungspunct auf der andern Seite der Linse in die Axe, also in F oder F^* , zu liegen.

Auf dieses Verhalten, verbunden mit der Eigenschaft der sphärischen Flächen, von einem Punkte ausgehende Strahlen so zu brechen, dass sie sich (nöthigenfalls verlängert) wieder in einem Punkte schneiden, gründet sich die bekannte Construction, mittelst deren für ein gegebenes Object Lage und Grösse des Bildes leicht bestimmt werden kann. Man zieht nämlich von den Endpuncten pt (Fig. 3) des Gegenstandes je zwei Linien pr und pq , von denen die eine die Axe in F schneidet, während die andere parallel mit derselben verläuft; von den Durchschnittspuncten q und r mit



Figur 3.

der Ebene E sodann zwei andere Linien rp^* und qp^* , deren Richtungen gegen jene gleichsam vertauscht sind: rp^* ist parallel mit der Axe, qp^* schneidet die letztere in F^* . Die beiden Linien pr und pq repräsentiren, wie man leicht sieht, zwei Lichtstrahlen, die sich nach der Brechung in p^* vereinigen, und da alle übrigen von p ausgehenden Strahlen in gleicher Weise nach p^* gebrochen werden, so entsteht in p^* das Bild des Punctes p . Durch eine ähnliche Construction erhält man das Bild des andern Endpunctes t , sowie aller übrigen zwischen p und t gelegenen Puncte. Man kann auch, um die Sache noch mehr zu vereinfachen, die eine der beiden

Hüfslinien durch den Richtungsstrahl pEp^* , welcher ungebrochen durchgeht, ersetzen.

Wollen wir die von Gauss eingeführte Terminologie auch auf diesen 5 einfachen Fall einer unendlich dünnen Linse ausdehnen, so wären die Ebenen F und F^* als Brennebenen, und die Ebene E als Hauptebene zu bezeichnen. Die Abstände der Brennebenen von der Hauptebene entsprechen der Brennweite, und ihre Durchschnittspuncte mit der Axe den Brennpuncten.

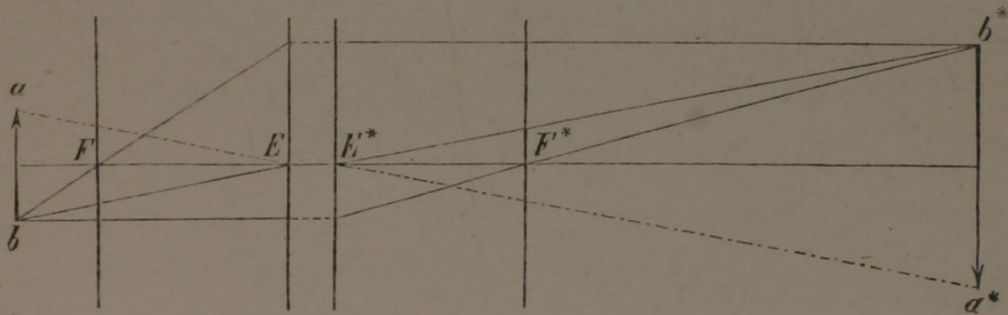
Es darf übrigens nicht ausser Acht gelassen werden, dass die erwähnten Constructionen, sowie überhaupt die in den physikalischen Lehrbüchern gegebenen Formeln, nach denen gewöhnlich die Lage des Bildes berechnet wird, auch für unendlich dünne Linsen nur unter der Voraussetzung genau sind, dass die vom Object ausgehenden Strahlen mit der Axe sehr kleine Winkel bilden und dass der wirksame Theil der brechenden Flächen ein kleiner Theil der ganzen Kugeloberfläche sei. Es ist diess eine Beschränkung, die wir auch bei der nun folgenden Betrachtung der Linsensysteme beibehalten, so dass also die Abweichung wegen der Kugelgestalt unberücksichtigt bleibt.

Wenn die brechenden Flächen, welche die Vereinigung der Strahlen 6 (oder ihrer Verlängerungen) zum Bilde bewerkstelligen, so weit von einander abstehen, dass eine Vernachlässigung dieser Abstände gegen die übrigen Constanten unstatthaft erscheint, so erleiden die gegebenen Regeln, nach denen die Wege der gebrochenen Strahlen bestimmt werden, eine wesentliche Modification. Dieser Fall kann sowohl bei einzelnen Linsen von erheblicher Dicke, als bei Linsensystemen, wie sie im Mikroskop zur Anwendung kommen, eintreten; er ist in der erwähnten Abhandlung von Gauss in seiner ganzen Allgemeinheit, d. h. ohne alle Beschränkung der Abstände zwischen den brechenden Flächen, vorausgesetzt.

Ein solches System von brechenden Flächen, deren Krümmungscentra in einer geraden Linie liegen, hat nun zunächst die Eigenschaft mit einer unendlich dünnen Linse gemein, Strahlen, die von einem Puncte ausgehen, wieder in einen Punct zu vereinigen, oder anders ausgedrückt: homocentrische Lichtbündel so zu brechen, dass sie nach sämtlichen Brechungen immer noch homocentrisch bleiben. In zweiter Linie lässt sich zeigen, dass unter allen Umständen auf der gemeinsamen Axe zwei Puncte F und F^* liegen, welche mit den Brennpuncten einer einfachen Linse vollkommen übereinstimmen, indem die Ebenen, welche in diesen Puncten senkrecht zur Axe errichtet werden, alle Eigenschaften der Brennebenen besitzen. Da jedoch die letzteren hier unter Umständen innerhalb der Grenzflächen des Systems liegen, so können sie nur durch die bereits oben mitgetheilte allgemein gültige Definition charakterisirt werden, nämlich dadurch, dass jedem einfallenden homocentrischen Lichtbündel, dessen Centrum in die (mit Rücksicht auf die Fortpflanzungsrichtung) vordere Brennebene fällt,

ein ausfahrendes parallelstrahliges Bündel entspricht, und umgekehrt jedem parallelstrahligen einfallenden ein homocentrisches ausfahrendes, dessen Centrum in die hintere Brennebene fällt. Es wäre z. B. ungenau zu sagen, dass parallel auffallende Strahlen nach dem Durchgang durch das System sich in einem Punkte schneiden, da der wirkliche Kreuzungspunkt derselben in manchen Fällen innerhalb des Systems liegt und zu den Brennebenen in keiner Beziehung steht.

- 7 Das Unterscheidende eines zusammengesetzten brechenden Systems besteht nun aber darin, dass an die Stelle des optischen Mittelpunctes zwei Punkte E und E^* treten, wovon der erstere hinsichtlich des einfallenden, der letztere hinsichtlich des ausfahrenden Strahls die Rolle desselben übernimmt. Diese Punkte heissen die Hauptpunkte des Systems und die Ebenen, welche in ihnen senkrecht zur Axe errichtet werden, die Hauptebenen. Ihre Bedeutung wird sofort klar, wenn wir das Bild irgend eines Gegenstandes ab (Fig. 4), wie oben bei der Linse, durch Construction zu bestimmen suchen. Ein von b nach dem ersten Hauptpunct E zielender Strahl erfährt auch hier keine Ablenkung in dem Sinne, dass die Fortpflanzungsrichtungen vor und nach der Brechung einen Winkel bilden würden; allein der ausfahrende Strahl schneidet, rückwärts verlängert, die Axe im zweiten Hauptpunct E^* , statt in E . Er verhält sich also wie ein ungebrochener Strahl, den man um den Abstand EE^* längs der Axe verschoben hätte. Eine ähnliche Verschiebung muss nun auch bei jedem andern Strahl,



Figur 4.

welches auch seine Richtung sein mag, hinzugedacht und in der Construction berücksichtigt werden. Die ausfahrenden Strahlen verhalten sich stets so, als ob in der ersten Hauptebeue die Brechung und dann eine Verschiebung der gebrochenen Strahlen längs der Axe um den Abstand EE^* stattgefunden hätte, oder was auf dasselbe herauskommt, als ob zuerst die Verschiebung der einfallenden Strahlen und hierauf die Brechung in der zweiten Hauptebeue erfolgt wäre. Demzufolge lässt sich die Richtung eines parallel mit der Axe einfallenden Strahls einfach dadurch bestimmen, dass man denselben bis zur zweiten Hauptebeue verlängert und von hier durch den Brennpunct F^* ausfahren lässt. Umgekehrt würde ein Strahl, welcher die Axe im ersten Brennpunct F schneidet, von der ersten Hauptebeue an parallel mit der Axe zu ziehen sein.

Von einem beliebigen Objectpunct b (Fig. 4), der jedoch nicht in die Axe fallen darf, lassen sich also drei ausgezeichnete Strahlen ziehen, für welche die entsprechenden ausfahrenden eben so leicht wie bei der einfachen Linse zu construiren sind. Zwei derselben genügen, um den Bildpunct b^* zu bestimmen; denn die übrigen werden natürlich, wie in der Figur angedeutet, ebenfalls nach diesem Punct hin gebrochen.

Wie man sieht, ist die Gesamtwirkung eines brechenden Systems in 8 jeder Beziehung der Brechung durch eine unendlich dünne Linse analog, aber nicht ganz aequivalent. Eine in E befindliche Linse von gleicher Brennweite entwirft zwar von dem Objecte ab (Fig. 4) ein mit b^*a^* vollkommen übereinstimmendes Bild; das letztere müsste aber parallel mit sich selbst um den Abstand der beiden Hauptebenen längs der Axe verschoben werden, um es mit b^*a^* zur Deckung zu bringen.

Die Brennweiten eines Systems werden durch die Entfernungen der Brennpuncte von den zugeordneten Hauptpuncten gemessen, also durch die Linien FE und E^*F^* . Sie wurden im Vorhergehenden unter sich gleich angenommen, weil diese Gleichheit wirklich besteht, wenn die Endflächen des Systems — wie diess beim Mikroskop gewöhnlich der Fall ist — an dasselbe Medium grenzen. Wo diese Bedingung nicht erfüllt ist, verhalten sich die beiden Brennweiten wie die Brechungscoefficienten der entsprechenden Medien. Bewegt sich z. B. der einfallende Strahl in Wasser und der ausfahrende in Luft, so verhält sich die vordere Brennweite zur hinteren wie $4\frac{1}{3}$ zu 4 ($4\frac{1}{3}$ ist der approximative Brechungscoefficient des Wassers). Ein nach E zielender Strahl erfährt unter dieser Voraussetzung nicht bloss eine Verschiebung nach E^* , sondern er wird überdiess so gebrochen, als ob er in E aus Wasser in Luft überginge. Der sogenannte Richtungsstrahl, wie der ungebrochen durchgehende Strahl auch hier, entsprechend der Bezeichnung für eine Brechung, gewöhnlich genannt wird, kann also nicht mehr durch E und E^* , sondern er muss durch Puncte gezogen werden, von denen der erste um die hintere, der zweite um die vordere Brennweite von dem zugeordneten (näher liegenden) Brennpunct absteht. Man hat diese beiden Puncte, welche sich in diesem Falle in die Rolle des optischen Mittelpunctes einer einfachen Linse theilen, die Knotenpuncte genannt. Für die folgende Betrachtung des Mikroskops erscheint jedoch die Einführung dieser Knotenpuncte entbehrlich, da das Eintauchen der Objectivlinsen in Wasser, sowie die Wirkung der Deckgläschen, ebensogut nachträglich in Rechnung gebracht werden kann.

Bezeichnet man den Abstand des Objectes von der ersten Hauptebene 9 mit p , denjenigen des Bildes von der zweiten Hauptebene mit p^* , endlich die Brennweite mit f , so besteht die Gleichung:

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$$

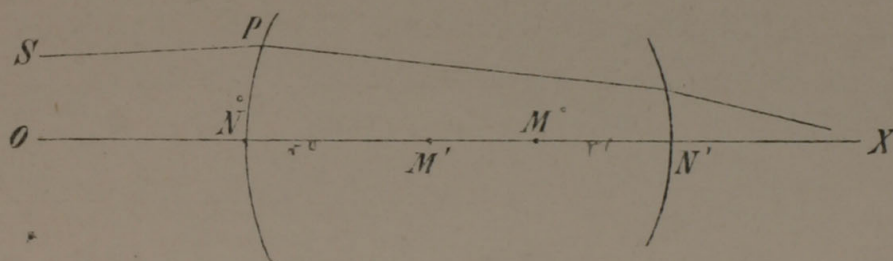
welche mit der oben für eine einzige Brechung aufgestellten übereinstimmt.

Die Grössen p und p^* werden conjugirte Vereinigungsweiten genannt; p^* ist negativ zu nehmen, wenn Bild und Object auf derselben Seite der Hauptebenen liegen, was immer zutrifft, sobald $p < f$. Das Verhältniss von p zu p^* giebt in gleicher Weise, wie bei einfachen Linsen, die lineare Vergrößerungszahl, so dass der oben (Nr. 4) gefundene Werth derselben für alle Fälle richtig bleibt.

II.

Analytische Bestimmung des Strahlenganges in brechenden Systemen.

- 10 Es handelt sich jetzt darum, die Punkte E und E^* , F und F^* , welche man die optischen Cardinalpunkte genannt hat, für ein gegebenes brechendes System, bei welchem die Krümmungen und Abstände der brechenden Flächen, sowie die Brechungscoefficienten der Medien bekannt sind, zu bestimmen. Diese Aufgabe lässt sich jedoch in unserem speciellen Falle, wo nur Linsen und Combinationen von solchen in Betracht kommen, auf eine viel einfachere zurückführen. Es genügt, die theoretische Betrachtung auf zwei brechende Flächen auszudehnen und die Rechnung nach der gefundenen Formel für die einzelnen das System bildenden Linsen oder Flächenpaare auszuführen. Je zwei Systeme von Cardinalpunkten lassen sich dann in gleicher Weise combiniren, wie zur Bestimmung derselben die Wirkungen zweier Brechungen combinirt wurden. Dasselbe gilt natürlich auch für die resultirenden Systeme; die Combination kann so lange fortgesetzt werden, bis endlich die Gesamtwirkung der brechenden Flächen auf ein System von Haupt- und Brennpunkten zurückgeführt ist.



Figur 5.

Es seien nun N^0 und N' (Fig. 5) die sogenannten Scheitel einer Linse, d. h. die Punkte, in welchen ihre Grenzflächen von der optischen Axe OX geschnitten werden, ferner r^0 und r' die bezüglichlichen Krümmungsradien, M^0M' die zugeordneten Mittelpunkte und n^0, n', n^* die absoluten Brechungscoefficienten der Medien in ihrer Reihenfolge von links nach rechts: vor, in und hinter der Linse. Ist das erste und letzte Medium Luft, wie bei den meisten optischen Instrumenten, so können n^0 und $n^*=1$ gesetzt

werden. Wir lassen jedoch diese Grössen, der Uebereinstimmung in der Form der Gleichungen zu lieb, vorläufig unbestimmt.

Ist nun SP die Linie, in welcher sich der einfallende Strahl fortpflanzt, so lässt sich ihre Lage in der Papierebene durch ein beliebiges rechtwinkliges Coordinatensystem bestimmen, auf welches dann auch alle übrigen in Betracht kommenden Richtungen und Punkte bezogen werden können. Wählen wir die gerade Linie, auf welcher die Krümmungscentra liegen, als Abscissenaxe und bezeichnen wir zur Abkürzung die Abscissen der Punkte N^0 , M^0 , N' , M' mit diesen nämlichen Buchstaben, so dass also $r^0 = M^0 - N^0$, $r' = M' - N'$ (welche Werthe demnach für convexe Brechungsflächen positiv, für concave negativ ausfallen), so nimmt die Gleichung für den einfallenden Strahl folgende Form an:

$$y = \frac{\beta^0}{n^0} (x - N^0) + b^0 \quad (1)$$

Für Leser, denen die mathematische Ausdrucksweise weniger geläufig ist, sei hiezu bemerkt, dass y die zur optischen Axe rechtwinklige Ordinate, x die zugehörige Abscisse (von einem beliebigen Anfangspunct an gerechnet), $\frac{\beta^0}{n^0}$ die Tangente des Winkels, welchen der einfallende Strahl mit der Axenrichtung bildet, endlich b^0 die Ordinate des Punctes ist, in welchem der Strahl eine durch N^0 senkrecht zur Axe gelegte Ebene trifft.

Durch die erste Brechung in P erhält der Strahl eine andere Richtung, 11 die wir durch die Gleichung bestimmen:

$$y = \frac{\beta'}{n'} (x - N^0) + b'$$

in welcher, wie man leicht einsieht, die Grössen $\frac{\beta'}{n'}$ und b' von $\frac{\beta^0}{n^0}$ und b^0 , sowie von der Wölbung der Linsenfläche abhängig sind.

Ist die Oeffnung der Linse, wie wir voraussetzen, im Verhältniss zu den Krümmungsradien sehr klein, so fällt das wirksame Stück der brechenden Fläche nahezu mit einer durch den Scheitel gelegten Tangentialebene zusammen. Letztere wird daher von dem rückwärts verlängerten gebrochenen Strahl in einem Punkte geschnitten, dessen Abstand b' von der Axe bis auf eine sehr kleine Grösse, die wir vernachlässigen dürfen, gleich b^0 ist. Die Gleichung des gebrochenen Strahls geht daher über in:

$$y = \frac{\beta'}{n'} (x - N^0) + b^0 \quad (2)$$

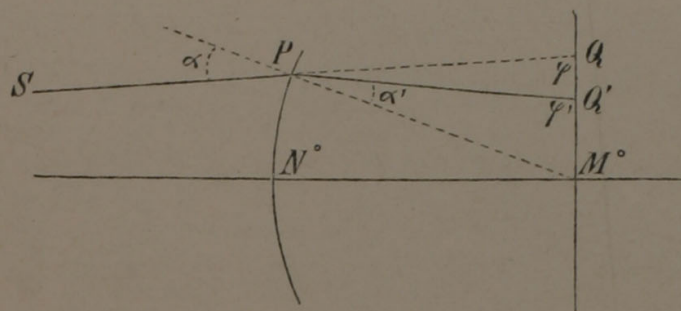
Es ist nun einleuchtend, dass in gleicher Weise auch die Beziehung zum zweiten Scheitel N' ausgedrückt werden kann. Man hat zu diesem Ende bloss das Absolutglied b^0 durch ein anderes b^* zu ersetzen, welches den Einfallspunct auf die zweite brechende Fläche oder, streng genommen, auf die durch N' gelegte Tangentialebene bestimmt. Wir setzen also:

$$y = \frac{\beta'}{n'} (x - N^*) + b^* \quad (3)$$

Die Gleichsetzung der Ausdrücke rechts in den Gleichungen (2) und (3) giebt

$$b^* = b^0 + \frac{\beta'}{n'} (N^* - N^0) \quad (4)$$

Um nun noch die unbekannte Grösse β' durch β^0 zu bestimmen, errichten wir in M^0 (Fig. 6) eine Senkrechte, welche den gebrochenen Strahl in Q'



Figur 6.

und die Verlängerung des einfallenden in Q schneidet. Die Winkel, welche dieselbe mit PQ und PQ' bildet, seien φ und φ' , der Einfallswinkel α und α' . In den Dreiecken PQM^0 und $PQ'M^0$ bestehen alsdann, da $PM^0 = r^0$, die trigonometri-

schen Beziehungen:

$$M^0Q = r^0 \frac{\sin \alpha}{\sin \varphi}; \quad M^0Q' = r^0 \frac{\sin \alpha'}{\sin \varphi'}$$

Hieraus ergibt sich

$$\frac{M^0Q'}{M^0Q} = \frac{\sin \alpha' \sin \varphi}{\sin \alpha \sin \varphi'}$$

oder da $\frac{\sin \alpha'}{\sin \alpha}$ nach dem Brechungsgesetz $= \frac{n^0}{n'}$:

$$M^0Q' = \frac{n^0 \sin \varphi}{n' \sin \varphi'} M^0Q \quad (5)$$

Aus den Gleichungen (1) und (2) für den einfallenden und den gebrochenen Strahl erhält man aber für die Ordinaten der Punkte Q und Q' , für welche $x - N^0 = r^0$, die Werthe

$$y (= M^0Q) = b^0 + \frac{\beta^0 r^0}{n^0}$$

$$y (= M^0Q') = b^0 + \frac{\beta' r^0}{n'}$$

Substituiert man dieselben in die Gleichung (5), so wird

$$b^0 + \frac{\beta' r^0}{n'} = \frac{n^0 \sin \varphi}{n' \sin \varphi'} \left(b^0 + \frac{\beta^0 r^0}{n^0} \right)$$

oder

$$\beta' = \frac{n^0 b^0 + \beta^0 r^0}{r^0} \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'} - \frac{n' b^0}{r^0}$$

In diesem Ausdruck ist das erste Glied rechts streng richtig; allein da φ und φ' nach unserer Voraussetzung vom rechten Winkel nur um kleine Grössen differiren und also ihre Sinus von der Einheit um Grössen abweichen, die gegen jene selbst wieder sehr klein sind, so wird — da der Quotient noch überdiess mit den kleinen Grössen b^0 und β^0 zu multipliciren ist — bis auf Grössen von der dritten Ordnung der Kleinheit genau

$$\beta' = \beta^0 - \frac{n' - n^0}{n^0} b^0. \quad (6)$$

Es ist nun ohne Weiteres klar, dass wenn die Gleichung für den Weg **12** des Lichtstrahls nach der zweiten Brechung an der hintern Linsenfläche in die Form gebracht wird

$$y = \frac{\beta^*}{n''} (x - N^*) + b^* \quad (7)$$

die Grösse β^* genau in derselben Weise durch β' bestimmt werden kann, wie diese letztere durch β^0 . Man hat daher in dem eben gefundenen Ausdruck für β' bloss die Accente zu ändern. Es ist demnach

$$\beta^* = \beta' - \frac{n'' - n'}{r'} b^*$$

oder, wenn man für β' und b^* deren Werthe aus (6) und (4) substituirt,

$$\beta^* = \beta^0 - \frac{n' - n^0}{r^0} b^0 - \frac{n'' - n'}{r'} \left[b^0 + \left(\beta^0 - \frac{n' - n^0}{r^0} b^0 \right) \left(\frac{N^* - N^0}{n'} \right) \right].$$

Setzen wir zur Abkürzung

$$\left. \begin{aligned} u^0 &= -\frac{n' - n^0}{r^0}, & u' &= -\frac{n'' - n'}{r'} \\ l' &= \frac{N^* - N^0}{n'} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

so geht obiger Ausdruck über in

$$\beta^* = \beta^0 + u^0 b^0 + u' b^0 + u' l' \beta^0 + u^0 u' l' b^0$$

oder auch

$$\beta^* = (u^0 + u' + u^0 u' l') b^0 + (u' l' + 1) \beta^0.$$

Ebenso erhält man aus Gleichung (4), wenn man für β' und $N^* - N^0$ deren Werthe setzt:

$$b^* = (u^0 l' + 1) b^0 + l' \beta^0.$$

Zur weiteren Vereinfachung dieser Ausdrücke sei

$$\left. \begin{aligned} u^0 l' + 1 &= g \\ l' &= h \\ u^0 + u' + u^0 u' l' &= k \\ u' l' + 1 &= l \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Man hat also

$$\left. \begin{aligned} \beta^* &= k b^0 + l \beta^0 \\ b^* &= g b^0 + h \beta^0 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Umgekehrt können natürlich auch die Grössen β^0 und b^0 durch β^* und b^* , wenn diese letzteren gegeben sind, bestimmt werden. Man braucht zu diesem Behufe bloss successive die aus der einen der beiden Gleichungen erhaltenen Werthe von b^0 und β^0 in die andere zu substituiren und bei der Reduction zu berücksichtigen, dass $gl - hk = 1$. Diese letztere Relation lässt sich durch Multiplication der entsprechenden Ausdrücke in (9) leicht beweisen. Man erhält

$$\left. \begin{aligned} \beta^0 &= -k b^* + g \beta^* \\ b^0 &= l b^* - h \beta^* \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

- 13 Es sei nun P ein gegebener Punct auf der (nöthigenfalls verlängerten) geraden Linie, die der einfallende Strahl beschreibt, und ξ , η seine Coordinaten. Man hat dann nach Gleichung (4)

$$\eta = \frac{\beta^0}{n^0} (\xi - N^0) + b^0$$

oder, wenn man für β^0 und b^0 ihre Werthe aus (11) substituirt,

$$\eta = \frac{g\beta^* - kb^*}{n^0} (\xi - N^0) - h\beta^* + lb^*$$

folglich

$$b^* = \frac{n^0 \eta + [n^0 h - g(\xi - N^0)] \beta^*}{n^0 l - k(\xi - N^0)}.$$

Setzt man diesen Werth in die Gleichung (7), welche die Richtung des Strahls nach der zweiten und letzten Brechung bestimmt, so wird dieselbe, wenn die mit β^* multiplicirten Glieder zusammengestellt werden:

$$y = \frac{\beta^*}{n^*} \left\{ x - \left(N^* - \frac{n^0 h - g(\xi - N^0)}{n^0 l - k(\xi - N^0)} \cdot n^* \right) \right\} + \frac{n^0 \eta}{n^0 l - k(\xi - N^0)} \quad (12)$$

und schreibt man zur Abkürzung

$$\left. \begin{aligned} N^* - \frac{n^0 h - g(\xi - N^0)}{n^0 l - k(\xi - N^0)} \cdot n^* &= \xi^* \\ \frac{n^0 \eta}{n^0 l - k(\xi - N^0)} &= \eta^* \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

so geht dieselbe über in

$$y = \eta^* + \frac{\beta^*}{n^*} (x - \xi^*)$$

Auf dem letzten Wege des Strahls liegt also nothwendig ein Punct P^* , dessen Coordinaten ξ^* und η^* sind; denn wenn in obiger Gleichung $x = \xi^*$ gesetzt wird, so ergibt sich $y = \eta^*$. Da nun ξ^* und η^* einzig und allein durch ξ und η , in Verbindung mit den in g , h , k , l eingehenden optischen Constanten, bestimmt werden und von den Grössen β^0 und b^0 unabhängig sind, so folgt daraus, dass jeder Strahl, der auf seinem ersten Weg durch den Punct P geht, auf seinem letzten Weg durch den Punct P^* gehen muss. Mit andern Worten: Einfallenden Strahlen, deren Richtungen sich im Punct P schneiden, entsprechen ausfahrende, die sich (nöthigenfalls verlängert) in P^* schneiden. Man kann den Punct P auch als Object und P^* als sein optisches Bild betrachten; jenes ist aber nur dann reell, wenn P im ersten Medium liegt, also $\xi - N^0$ negativ ist, und ebenso kann das Bild nur dann reell werden, wenn $\xi^* - N^*$ positiv ist oder P^* im letzten Medium liegt. In den entgegengesetzten Fällen sind Object oder Bild nur virtuell, d. h. die Strahlen gehen nicht wirklich von P aus oder laufen nicht wirklich in P^* zusammen, P und P^* sind bloss die Durchschnittspuncte ihrer Verlängerungen.

- 14 Legen wir jetzt durch die Puncte P und P^* gegen die Axe senkrechte Ebenen, so ist von selbst klar, dass jedem Punct in der einen Ebene ein coordinirter Bildpunct in der andern entspricht; denn wenn ξ constant bleibt, so erleidet auch ξ^* , das in einem gegebenen System allein von ξ

abhängig ist, keine Veränderungen. Die Entfernungen der zugeordneten Object- und Bildpunkte verhalten sich wie die entsprechenden Ordinaten η und η^* oder nach Gleichung (13) wie 1 zu $\frac{n^0}{n^{0l-k}(\xi - N^0)}$. Als ein solches System von Punkten kann nun jedes Object von endlicher Ausdehnung betrachtet werden; dasselbe erzeugt daher ein zusammenhängendes Bild, dessen Lineardimensionen durch das eben angegebene Verhältniss — das Object als Einheit betrachtet — bestimmt sind. Bezeichnet man die Grösse $\frac{n^0}{n^{0l-k}(\xi - N^0)}$ mit m , so ist diess die lineare Vergrößerungszahl. Ihr Vorzeichen entscheidet, ob das Bild aufrecht oder verkehrt ist; ist sie negativ, und mit ihr also auch $\frac{\eta^*}{\eta}$, so bedeutet diess, dass Object- und Bildpunkt auf entgegengesetzten Seiten der Axe liegen.

Die Punkte P und P^* können natürlich innerhalb der Grenzen, die 15 durch ihre in (13) dargestellte Abhängigkeit gezogen sind, alle möglichen Lagen annehmen; denn für jedes beliebige ξ lässt sich das entsprechende ξ^* berechnen. Von diesen Lagen verdienen namentlich drei eine besondere Beachtung, weil sie die Eigenschaft haben, eine einfachere Beziehung zwischen den einfallenden und ausfahrenden Strahlen darzubieten.

Wir wollen zunächst die beiden Punkte in eine solche Lage bringen, dass sie gleich weit von der Axe abstehen. Es ist alsdann $\eta = \eta^*$ oder

$$m = \frac{n^0}{n^{0l-k}(\xi - N^0)} = 1$$

woraus sich ergibt

$$\xi - N^0 = - \frac{n^0(1-l)}{k};$$

$$\text{folglich} \quad \xi = N^0 - \frac{n^0(1-l)}{k}. \quad (14)$$

Ebenso erhält man für ξ^* , wenn man diesen Werth in die Gleichung (13) einsetzt:

$$\xi^* = N^* + \frac{n^*(1-g)}{k}. \quad (15)$$

Denken wir uns also auf der optischen Axe zwei Punkte E und E^* , deren Abscissen (die wir ebenfalls mit E und E^* bezeichnen) den eben gefundenen Werthen von ξ und ξ^* gleich sind, und stellen wir in denselben zwei Ebenen rechtwinklig zur Axe auf, so wird die erste vom einfallenden Strahl in gleicher Entfernung getroffen, wie die zweite vom ausfahrenden. Die gedachten Punkte sind also nichts anderes, als die Eingangs erwähnten Hauptpunkte des Systems, und die in ihnen errichteten Ebenen sind die Hauptebenen.

Es lässt sich auch leicht beweisen, dass wenn $n^0 = n^*$, ein nach E zielender Strahl ohne Ablenkung ausfährt. Denn macht man in der Gleichung für den einfallenden Strahl, nämlich in

$$y = \frac{\beta^0}{n^0} (x - N^0) + b^0,$$

$x = E$ und substituirt für $(E - N^0)$ dessen Werth aus (14), so hat man, da y für $x = E$ Null werden soll:

$$y = b^0 - \beta^0 \left(\frac{1-l}{k} \right) = 0,$$

folglich

$$b^0 = \beta^0 \left(\frac{1-l}{k} \right).$$

Führt man diesen Werth in den Ausdruck für β^* [Gleichung (10)] ein, so wird $\beta^* = \beta^0$ und also auch (da ja $n^* = n^0$) $\frac{\beta^*}{n^*} = \frac{\beta^0}{n^0}$, d. h. der ausfahrende Strahl bildet mit der Axe denselben Winkel, wie der einfallende: der nach E zielende Strahl ist ein Richtungsstrahl.

Die Consequenzen, die sich für den Fall ergeben, dass n^0 und n^* ungleich sind und demnach $\frac{\beta^*}{n^*}$ und $\frac{\beta^0}{n^0}$ sich zu einander verhalten wie n^0 zu n^* , wollen wir hier nicht weiter verfolgen.

- 16 Als zweiter Fall sei diejenige Lage der Punkte P und P^* erwähnt, in welcher der Bildpunct in unendliche Ferne fällt, und also $\xi^* - N^* = \infty$ wird. Es ist alsdann, wie man leicht einsieht, auch $\eta^* = \infty$, und insofern $\eta > 0$ einen endlichen Werth hat, wie wir voraussetzen:

$$m = \frac{n^0}{n^0 l - k(\xi - N^0)} = \infty.$$

Da in diesem Ausdruck der Zähler eine endliche Grösse ist, so muss der Nenner $= 0$ sein und daher $k(\xi - N^0) = n^0 l$, woraus sich ergibt:

$$\xi = N^0 + \frac{n^0 l}{k}. \quad (16)$$

Ebenso erhält man für den analogen dritten Fall, in welchem der Objectpunct in unendlicher Ferne liegt, aus Gleichung (13) den entsprechenden Werth von ξ^* . Berücksichtigt man nämlich, dass die im Zähler und Nenner vorkommenden Grössen $n^0 h$ und $n^0 l$ gegen die unendliche Grösse $(\xi - N^0)$ verschwinden, so findet man leicht, dass

$$\xi^* = N^* - \frac{n^* g}{k}. \quad (17)$$

Diese Werthe von ξ und ξ^* entsprechen offenbar den Abscissen der beiden Brennpuncte F und F^* , und die in ihnen senkrecht zur Axe errichteten Ebenen sind die Brennebenen. So oft der eine der beiden Punkte in die entsprechende Brennebene fällt, rückt der andere in unendliche Ferne.

- 17 Aus den in den Gleichungen (14) bis (17) gegebenen Abscissen der Haupt- und Brennpuncte lassen sich ihre gegenseitigen Abstände durch einfache Subtraction der entsprechenden Abscissenwerthe bestimmen. Man erhält:

$$\left. \begin{aligned} E - F &= -\frac{n^0}{k} \\ F^* - E^* &= -\frac{n^*}{k} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Die Grössen $-\frac{n^0}{k}$ und $-\frac{n^*}{k}$, oder die Entfernungen der Hauptebenen von den zugehörigen Brennebenen, hat man die Brennweiten des Systems genannt. Sie haben unter allen Umständen — da n^0 und n^* ihrer Natur nach positive Zahlen sind — dasselbe, k entgegengesetzte Vorzeichen. Sind sie positiv, liegt also E hinter F und F^* hinter E^* , so heisst das System ein *collectives*; es wirkt wie eine Sammellinse und kann reelle Bilder liefern. Im entgegengesetzten Falle nennt man das System *dispansiv*, weil es wie eine Zerstreuungslinse wirkt und von reellen Objecten nur virtuelle Bilder liefert.

Die Abstände des Objectes von der ersten und des Bildes von der zweiten Hauptebene können, dem Sprachgebrauche bei einfachen Brechungen gemäss, als *conjugirte Vereinigungsweiten* bezeichnet werden. Ihre Werthe lassen sich aus dem Vorhergehenden leicht berechnen. Die Umsetzung der Gleichungen (44) und (45), in denen $\xi = E$ und $\xi^* = E^*$, ergiebt:

$$\begin{aligned} N^0 &= E + \frac{n^0 (1-l)}{k} \\ N^* &= E^* - \frac{n^* (1-g)}{k} \end{aligned}$$

Substituirt man diese Werthe in (43), wo ξ, η und ξ^*, η^* die Coordinaten der conjugirten Vereinigungspuncte P und P^* darstellen, so werden dieselben:

$$\left. \begin{aligned} \xi^* &= E^* - \frac{n^* (E - \xi)}{n^0 + k (E - \xi)} \\ \eta^* &= \frac{n^0 \eta}{n^0 + k (E - \xi)} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Aus der ersten dieser Relationen erhält man

$$\frac{n^0}{E - \xi} + \frac{n^*}{\xi^* - E^*} = -k,$$

oder wenn man $(E - \xi)$ mit p , $(\xi^* - E^*)$ mit p^* und die Brennweiten mit f und f^* bezeichnet, und endlich noch aus (18) die Werthe von $-k$ hinzufügt:

$$\frac{n^0}{p} + \frac{n^*}{p^*} = -k = \frac{n^0}{f} = \frac{n^*}{f^*} \quad (20)$$

Die Analogie mit der Brechung an einer Fläche ist hienach augenfällig.

Die Vergrößerungszahl m , welche das Verhältniss der Ordinaten $\eta^* : \eta$ ausdrückt, nimmt jetzt, in Folge der Ausdrücke in (19) und (20), noch folgende Formen an:

$$\begin{aligned} m &= \frac{n^0}{n^0 + k p} = \frac{1}{1 + \frac{k}{n^0} p} = \frac{1}{1 - \frac{p}{f}} = \frac{f}{f - p} \\ &= \frac{n^* + k p^*}{n^*} = 1 + \frac{k}{n^*} p^* = 1 - \frac{p^*}{f^*} = \frac{f^* - p^*}{f^*} \end{aligned}$$

Zur Vervollständigung der Analogieen, welche zwischen der optischen Wirkung eines Systems und der Brechung an einer Fläche bestehen, sei

hier noch die übereinstimmende Bedeutung der Grösse k für den ersten, und der Grösse u^0 oder u' für den letzteren Fall hervorgehoben. Es lässt sich beweisen, dass die in (20) ausgedrückte Relation, nämlich $k = -\frac{n^0}{f} = -\frac{n^*}{f^*}$, in ganz analoger Weise auch für u^0 und u' besteht und dass, wenn man mit φ und φ' die Brennweiten der ersten, mit φ'' und φ''' die der zweiten brechenden Fläche bezeichnet,

$$u^0 = -\frac{n^0}{\varphi} = -\frac{n'}{\varphi'}$$

$$u' = -\frac{n'}{\varphi''} = -\frac{n''}{\varphi'''}$$

wird. Setzt man nämlich in der Gleichung für die Richtung des Lichtstrahls nach der ersten Brechung $(x - N^0) = \varphi'$, also x gleich der Abscisse des Brennpunctes, und substituirt für β' seinen Werth $\beta^0 + u^0 b^0$, so wird

$$y = \frac{\beta^0 + u^0 b^0}{n'} \varphi' + b^0$$

und da dieser Werth für parallel mit der Axe einfallende Strahlen (für welche $\beta^0 = 0$) Null sein muss, so ergibt sich

$$u^0 b^0 \frac{\varphi'}{n'} + b^0 = 0,$$

folglich

$$u^0 = -\frac{n'}{\varphi'}.$$

Ebenso erhält man aus der Gleichung für den einfallenden Strahl, wenn man für β^0 seinen Werth $\beta' - u^0 b^0$ setzt:

$$u^0 = -\frac{n^0}{\varphi}.$$

Dass sich in gleicher Weise auch die Beziehungen von u' zu φ'' und φ''' ableiten lassen, ist ohne Weiteres klar.

Die Grössen u^0 , u' , k sind also sämmtlich gleich $-\frac{n}{f}$, wenn f die vordere oder hintere Brennweite und n der Brechungscoefficient des Mediums ist, in dem sich der Strahl beziehlich vor oder nach der in Betracht kommenden Brechung bewegt. Die durch die letztere verursachte Ablenkung ist also dieselbe, welche eine beiderseits an Luft (für welche $n = 1$) grenzende unendlich dünne Linse, deren Brennweite $= f$, veranlassen würde.

- 19 Die eben angeführten Beziehungen geben uns ein Mittel an die Hand, zwei beliebige Systeme von optischen Cardinalpuncten eben so leicht zu combiniren, wie zwei brechende Flächen; denn vermöge der mitgetheilten Gleichungen ist es gestattet, alle vorkommenden Brechungen auf unendlich dünne Linsen zurückzuführen und die Grössen u^0 und u' , welche in den Formeln für β' und β'' auftreten, den reciproken Brennweiten jener Linsen, negativ genommen, gleich zu setzen.

Sind z. B. E^0 und I^0 die Hauptpuncte einer Linse, deren (berechnete) Brennweite $= f^0$, E' I' die einer andern mit der Brennweite f' , so wird

vermöge der Eigenschaften der Hauptpunkte ein durch beide hindurch gehender Strahl so gebrochen, als ob in I^0 und E' unendlich dünne Linsen mit denselben Brennweiten aufgestellt wären. Der Abstand der Punkte I^0 und E' hat also hier dieselbe Bedeutung, wie bei einer einfachen Linse die Grösse $\frac{N^* - N^0}{n'} = t'$. Es folgt diess auch unmittelbar aus den auf die Hauptpunkte bezogenen Gleichungen des Strahls vor und nach der Brechung. Man hat für die Richtung desselben vor der Brechung

$$y = \beta^0 (x - E^0) + b^0,$$

nach der ersten Brechung

$$y = \beta' (x - I^0) + b^0,$$

oder auf E' bezogen $y = \beta' (x - E') + b^*$,

nach der zweiten Brechung

$$y = \beta^* (x - I') + b^*.$$

Aus den mittleren Gleichungen ergibt sich, wenn man die Ausdrücke rechter Hand gleich setzt:

$$b^* = b^0 + (E' - I^0) \beta',$$

während wir oben [Gleichung (4)] gefunden hatten:

$$b^* = b^0 + \frac{N^* - N^0}{n'} \beta'.$$

Die Analogie ist hienach augenfällig. Da nun aber ausser der Brechung, von welcher b^* allein abhängig ist, auch die Verschiebung der Strahlen von einer Hauptebene zur andern in Rechnung kommt, so entspricht rück-sichtlich der Lage des ausfahrenden Strahls zum einfallenden der erste Hauptpunkt E^0 dem vordern, und der letzte I' dem hintern Linsenscheitel. Wenn also im Vorhergehenden E und E^* in ihrer Lage zu N^0 und N^* durch die Gleichungen bestimmt wurden

$$E = N^0 - \frac{l - l}{k}, \quad E^* = N^* + \frac{l - g}{k},$$

so werden die Hauptpunkte des resultirenden Systems, die wir mit E und E^* bezeichnen wollen, gegeben sein durch

$$E = E^0 - \frac{l - l}{k}; \quad E^* = I' + \frac{l - g}{k}.$$

Dasselbe gilt natürlich auch für die Brennpunkte. Man hat

$$F = E^0 + \frac{l}{k}; \quad F^* = I' - \frac{g}{k}.$$

Zusammenstellung der Resultate.

Es dürfte wohl Manchem, welcher der vorhergehenden analytischen 20 Entwicklung nicht gerne folgt, erwünscht sein, wenn wir die wichtigsten Ergebnisse derselben hier übersichtlich zusammenstellen.

Die Grössen, welche in den Formeln zur Bestimmung der Haupt- und Brennpunkte auftreten und selbstverständlich für ein gegebenes System

constant bleiben, sind g, l, k . Diese sind ihrerseits wieder abhängig von zwei Reihen anderer Grössen, nämlich $u^0, u', u'' \dots$ und $t' t'' \dots$, wobei $\frac{1}{u^0}$ die negativ genommene Brennweite einer unendlich dünnen Linse bezeichnet, welche eine der ersten Brechung aequivalente Ablenkung verursachen würde, und u', u'' dieselbe Bedeutung für die zweite und dritte Brechung haben, während $t', t'' \dots$ die Abstände der eingebildeten aequivalenten Linsen bezeichnen. Es folgt hieraus, dass wenn bei irgend einer Combination bloss zwei Brechungen, sei es an Flächen oder durch eingebildete Linsen, in Betracht kommen, die erste Reihe dieser Grössen auf u^0 und u' , die zweite auf t' reducirt wird. Auf diesen einfachen Fall haben wir uns in der vorhergehenden mathematischen Betrachtung beschränkt.

Bezeichnet man nun mit r^0 und r' die Krümmungsradien der vorderen und hinteren Linsenfläche und mit f^0 und f' die Brennweiten von Linsen, deren Wirkung der Brechung an den genannten Flächen gleichkommt, in dem Sinne, dass gleichen Einfallswinkeln gleiche Brechungswinkel entsprechen; bezeichnet man ferner den Brechungscoefficient der Linsensubstanz mit n , so wird — wenn das umgebende Medium Luft ist:

$$u^0 = -\frac{1}{f^0} = -\frac{n-1}{r^0}$$

$$u' = -\frac{1}{f'} = -\frac{1-n}{r'} = +\frac{n-1}{r'}$$

Hierzu ist zu bemerken, dass die Krümmungsradien r^0 und r' positiv oder negativ zu nehmen sind, je nachdem der einfallende Strahl die convexe oder die concave Seite der zugehörigen Fläche trifft. Ist letztere eben, so wird $r = \infty$ und folglich das entsprechende $u = 0$. Ebenso sind die Brennweiten, wo diese in Rechnung gebracht werden, positiv oder negativ zu nehmen, je nachdem die betreffende Brechung sammelnd oder zerstreuend wirkt, also positiv für collective, negativ für dispansive Linsen und Linsensysteme.

Für die Grösse t' erhält man im Fall einer einzelnen Linse, deren Dicke $= d$ gesetzt wird,

$$t' = \frac{d}{n}$$

und bei der Combination zweier Systeme, wenn die Hauptpunkte des ersten durch ihre Abscissen E^0 und I^0 , die des zweiten durch E' und I' bezeichnet werden,

$$t' = E' - I^0,$$

d. h. t' ist gleich dem Abstand der zugekehrten Hauptpunkte.

- 21 Die Operationen, die zur Bestimmung der optischen Cardinalpunkte nothwendig sind, lassen sich jetzt — nachdem u^0, u' und t' als gegeben betrachtet werden dürfen — in tabellarischer Form zusammengestellt leicht übersehen. Man hat

1⁰ für die optischen Constanten

$$g = u^0 t' + 1$$

$$l = u' t' + 1$$

$$k = u^0 u' t' + u^0 + u' = u' g + u^0$$

$$h = t'$$

wobei zur Controle die Gleichung besteht: $gl - hk = 1$;

2⁰ für die Cardinalpunkte

a) zwei brechende Flächen	b) zwei brechende Systeme
$E = N^0 - \frac{1-l}{k}$	$E = E^0 - \frac{1-l}{k}$
$E^* = N^* + \frac{1-g}{k}$	$E^* = I^* + \frac{1-g}{k}$
$F = N^0 + \frac{l}{k}$	$F = E^0 + \frac{l}{k}$
$F^* = N^* - \frac{g}{k}$	$F^* = I^* - \frac{g}{k}$
Brennweite = $-\frac{1}{k}$	Brennweite = $-\frac{1}{k}$

Hiebei bedeuten die grossen Buchstaben die Abscissenwerthe der entsprechenden Punkte (von einem beliebigen in der Axe gelegenen Ausgangspunkt an gerechnet), und zwar $N^0 N^*$ die des ersten und zweiten Linsenscheitels, $E^0 I^*$ die des ersten und letzten der 4 Hauptpunkte, die bei der Combination von zwei Systemen in Betracht kommen, endlich $EE^* FF^*$ die der resultirenden Haupt- und Brennpunkte.

Ist z. B. in einem gegebenen Fall $\frac{l}{k} = -5^{\text{mm}}$ und $\frac{g}{k} = -4^{\text{mm}}$, so liegt der erste Brennpunkt F 5^{mm} vor dem ersten und der zweite Brennpunkt F^* 4^{mm} hinter dem zweiten Linsenscheitel. Ebenso sind auch die übrigen Gleichungen zu verstehen.

III.

Bestimmung der Abstände correspondirender Bildpunkte von der Axe bei beliebiger Neigung der Strahlen.

Wie bereits oben angedeutet, stehen die Voraussetzungen, unter welchen die Gaussischen Formeln gewonnen wurden, mit den thatsächlichen Bedingungen der Bilderzeugung durch starke Linsensysteme in schroffem Gegensatz. In Wirklichkeit ein beliebig grosser, in der Gaussischen Abstraction dagegen ein unendlich kleiner Oeffnungswinkel der bild-

erzeugenden Lichtbündel, dazu ein ähnlicher Gegensatz in Beziehung auf die Neigung der Richtstrahlen zur Axe. Nichtsdestoweniger gestatten die Bestimmungen, welche mit Hülfe der genannten Formeln ausführbar sind, eine approximativ richtige und in vielen Fällen auch practisch verwerthbare Schematisirung des Strahlenganges, und die Beobachtung lehrt, dass die auf analytischem Wege bestimmte Lage der Cardinalpuncte von der durch Messung gefundenen nicht einmal sehr erheblich abweicht. Für Objecte, deren Randpuncte nicht allzuweit von der Axe abstehen, ist darum auch die Berechnung der entsprechenden Bildgrösse für eine beliebige Combination von brechenden Flächen so ziemlich zutreffend, d. h. das Verhältniss zwischen Bildgrösse und Object gestaltet sich thatsächlich ungefähr so, wie dasjenige zwischen hinterer und vorderer Vereinigungsweite. Eine Construction, die nach Analogie der Fig. 4 (p. 6) ausgeführt wird, giebt also für ein beliebiges System nicht bloss die Entfernungen in der Richtung der Axe (Abscissenlängen), sondern auch die Abstände in der Ebene des Bildes (Ordinaten). Trigonometrisch ausgedrückt sind demnach diese letztern, von der Axe aus gemessen, gleich der Tangente des Winkels, unter dem die betreffenden Richtstrahlen von der Axenrichtung divergiren. Bezeichnet man diesen Winkel mit δ und die hintere Vereinigungsweite, wie oben, mit p^* , so ist demzufolge der lineare Abstand des Bildpunctes $= p^* \cdot \tan \delta$.

Eine genauere analytische Bestimmung dieser Abstände, specieell mit Rücksicht auf stärker geneigte Strahlen, führt jedoch zu dem Ergebniss, dass in obiger Formel statt $\tan \delta$ der Sinus dieses Winkels zu setzen ist. Für die gewöhnlichen Beobachtungsmethoden macht diess nun allerdings nicht viel aus; denn der Sinus von 45° ist beispielsweise noch nicht ganz um 0,04 des Radius kleiner als die Tangente dieses Winkels, woraus unter Anderem folgt, dass das Bildchen der Blendungsöffnung in der hintern Focalebene des Objectivs — die einfallenden Lichtkegel zu 30° Oeffnung angenommen — nach beiden Formeln nahezu gleich gross ausfällt. Sein Durchmesser d ist im einen Fall, wenn wir ein Objectiv von 3^{mm} Brennweite voraussetzen, $= \frac{2 \cdot \tan 45^\circ}{r} \cdot 3$ oder $= 4,60^{\text{mm}}$, im andern $= \frac{2 \cdot \sin 45^\circ}{r} \cdot 3$ oder $= 4,55^{\text{mm}}$. Der Unterschied beträgt also bloss $\frac{1}{20}$ eines Millimeters. Allein es giebt Bedingungen der Beobachtung, wo die Differenzen zwischen Sinus und Tangente viel höher steigen und wo eine Vernachlässigung derselben, zumal bei Maassbestimmungen, nicht mehr zulässig ist. Mit Rücksicht hierauf geben wir nachstehend das von Abbe *) aufgestellte Theorem, welches für alle bei der mikroskopischen Beobachtung vorkommenden Neigungen Geltung hat. Dasselbe lautet: Wenn ein

*) Archiv für mikr. Anat. Bd. IX, p. 420.

optisches System für einen seiner Brennpuncte vollkommen aplanatisch ist, so trifft jeder von diesem Brennpuncte ausgehende Strahl eine durch den andern Brennpunct gelegte Ebene in einem Abstände von der Axe, dessen lineare Grösse gleich ist dem Product aus der Aequivalentbrennweite des Systems mit dem Sinus des Winkels, welchen der betreffende Strahl mit der Axe bildet.

Den Beweis zu diesem Satze hat Abbe bis dahin nicht veröffentlicht. **23**
Für unsere Zwecke mag es übrigens genügen, an einer beliebigen Doppellinse zu zeigen, dass die Tangente des fraglichen Winkels in der That etwas zu hohe Werthe für den Abstand des ausfahrenden Strahls von der Axe ergeben muss. Bestimmt man nämlich die Cardinalpuncte für eine solche Linse, so findet man immer, dass die vordere Hauptebene etwas hinter den geometrischen Mittelpunkt der Kronglaslinse zu liegen kommt und folglich die letzte brechende Fläche schneidet. Man vergleiche z. B. die auf den nächstfolgenden Blättern mitgetheilten Berechnungen oder die Construction Fig. 7. Denken wir uns also einen vom Brennpunct ausgehenden Strahl, welcher ohne Ablenkung bis zu dem bezeichneten Durchschnittpuncte der vordern Hauptebene mit der letzten brechenden Fläche verläuft, so trifft derselbe diese Fläche nothwendig in einem grössern Abstände, als wenn der nämliche Strahl an der Vorderfläche der Linse nach innen abgelenkt wird und dann doch nahezu in der nämlichen Verticale eine mit der Axe parallele Richtung annimmt. Welche Unterschiede sich hiebei ergeben, mag beispielsweise an einer Doppellinse dargelegt werden, deren Brennweite = $8,773^{\text{mm}}$ beträgt. Der Abstand des Brennpunctes von der ersten Linsenfläche sei = $7,339$, folglich derjenige des vordern Hauptpunctes von derselben Fläche = $1,434^{\text{mm}}$, endlich der Brechungscoefficient des Flintglases = $1,6^*$). Unter diesen Voraussetzungen erhält man für den Abstand y eines vom Brennpunct ausgehenden, 44° geneigten Strahls von der Axe nach dem Durchgang durch die Linse:

a) nach der trigonometrischen Berechnung für den Fall, dass der Austrittspunct des Strahls mit dem Kreuzungspunct in der vordern Hauptebene annähernd zusammenfällt, wobei zugleich der im Kronglas zurückgelegte Weg nicht als besonderes Stück berechnet zu werden braucht:

$$y = 7,339 \cdot \tan 44^\circ + 1,434 \cdot \tan 8^\circ 40' = 2,048^{\text{mm}};$$

b) nach der Formel: $y = \text{Brennweite} \times \tan 44^\circ$

$$y = 8,773 \cdot \tan 44^\circ = 2,187^{\text{mm}}.$$

Nun ist allerdings unsere Linse für Strahlen, welche vom Brennpuncte ausgehen, nicht aplanatisch, sondern merklich übercorrigirt. Der Abstand des im Flintglas gebrochenen Strahls von der Axe fällt demzufolge etwas

*) Vgl. die Daten für die zweite Doppellinse des auf den nächstfolgenden Seiten berechneten Objectivs.

zu klein aus; er mag bei vollkommenem Aplanatismus auf c. $2,07^{\text{mm}}$ steigen. Allein in der Hauptsache wird dadurch nichts geändert: die Abweichung im Vergleich mit der Tangente des Neigungswinkels besteht doch immer in gleichem Sinne fort. Man sieht überdiess leicht ein, dass die Grösse dieser Abweichung mit dem Neigungswinkel des einfallenden Strahls steigt und fällt.

IV.

Die Cardinalpuncte des Mikroskops.

1. Das Objectiv.

- 24 Wir wenden uns jetzt zur Bestimmung der Cardinalpuncte eines gegebenen Objectivsystems. Dasselbe bestehe aus drei Doppellinsen und jede der letzteren aus einer planconcaven Flintglaslinse und einer biconvexen, beiderseits gleich gekrümmten Kronglaslinse. Der Brechungscoefficient des Flintglases sei 1,6 und der des Kronglases 1,5. Diess vorausgesetzt, ergibt sich für eine Flintglaslinse, wenn die Dicke d und der Krümmungsradius r' vorläufig unbestimmt gelassen werden, gemäss den in Nr. 20 und 21 enthaltenen Formeln:

$$u^0 = 0, \quad u' = \frac{3}{5r'}, \quad l' = \frac{5}{8}d,$$

$$\text{und hieraus } g = 1, \quad k = u' = \frac{3}{5r'}, \quad l = 1 + \frac{3}{8} \frac{d}{r'};$$

$$\text{folglich } E = N^0 + \frac{5}{8}d, \quad E^* = N^*, \quad f^0 = -\frac{5}{3}r'.$$

Bei einer planconcaven Linse fällt demnach der zweite Hauptpunct mit dem hintern Linsenscheitel zusammen, während der erste um $\frac{d}{n}$ (also hier $= \frac{5}{8}d$) von der ebenen Vorderfläche absteht. Die Brennweite f^0 ist identisch mit derjenigen der gekrümmten Fläche; sie ist negativ und zwar $= -\frac{1}{u'} = -\frac{r'}{n-1}$. (Vgl. p. 48.)

Ebenso erhält man für eine Kronglaslinse, wenn der Krümmungsradius mit r und die Dicke mit d bezeichnet wird,

$$u^0 = u' = -\frac{1}{2r}; \quad l' = \frac{2}{3}d;$$

$$\text{hieraus } g = l = 1 - \frac{d}{3r}; \quad k = \frac{1}{6r^2}(d - 6r);$$

$$\text{folglich } E = N^0 - \frac{2dr}{d-6r} = N^0 + \frac{2dr}{6r-d}$$

$$E^* = N^* + \frac{2dr}{d-6r} = N^* - \frac{2dr}{6r-d}$$

$$f' = \frac{6r^2}{6r-d};$$

Die Hauptpunkte einer biconvexen (oder auch biconcaven) Linse mit gleichen Krümmungen liegen demnach symmetrisch zu beiden Seiten des optischen Mittelpunctes; die Entfernungen von den beiden Linsenscheiteln sind unter sich gleich. Bei der Kugel, wo $d = 2r$, fallen die Hauptpunkte in das Centrum. Wird d grösser als $2r$, wie bei Cylinderloupen, so kommt der zweite Hauptpunkt vor den ersten zu stehen.

Wir geben jetzt den Grössen r und d bestimmte Werthe, um die erhaltenen Formeln auf die drei Doppellinsen unseres Objectivs anzuwenden. Zur grösseren Bequemlichkeit seien f^0 und f' jedesmal die Brennweiten der zusammengehörigen Flint- und Kronglaslinse, d^0 und d' ihre Dicke und e^0 i^0 e' i' ihre Hauptpunkte, ferner φ^0 φ' und φ'' die Brennweiten der ersten, zweiten und dritten Doppellinse und E^0 I^0 E' I' E'' I'' deren Hauptpunkte, endlich N^0 N^1 N^2 . . . N^8 die auf einander folgenden Linsenscheitel. Bei der Combination der Flint- und Kronglaslinsen wird alsdann t' ($= e' - i^0$) gleich dem Abstand des Punctes e' von der Berührungsfläche, $u^0 = -\frac{1}{f^0}$ und $u' = -\frac{1}{f'}$. Da die Rechnung sehr leicht ist, so mag es genügen, die auszuführenden Operationen bloss für die erste Doppellinse anzudeuten, für die übrigen dagegen die in gleicher Weise erhaltenen Resultate einfach zusammenzustellen.

Erste Doppellinse. Sei $r = 1$, $d^0 = \frac{1}{2}$, $d' = 1$; dann wird:

$$e^0 = N^0 + \frac{5}{8} d^0 = N^0 + \frac{5}{8} \cdot \frac{1}{2} = N^0 + \frac{5}{16}; \quad i^0 = N^1;$$

$$e' = N^1 + \frac{2dr}{6r-d} = N^1 + \frac{2 \cdot 1 \cdot 1}{6 \cdot 1 - 1} = N^1 + \frac{2}{5}; \quad i' = N^2 - \frac{2}{5};$$

$$f^0 = -\frac{1}{k} = -\frac{1}{\frac{3}{5} \cdot r} = -\frac{5}{3}; \quad f' = -\frac{1}{k} = -\frac{1}{\frac{6r^2}{d-6r}} = \frac{6}{5}.$$

Hieraus ergibt sich für die Combination der beiden Linsen:

$$u^0 = -\frac{1}{f^0} = \frac{3}{5}; \quad u' = -\frac{1}{f'} = -\frac{5}{6}; \quad t' = e' - i^0 = +\frac{2}{5};$$

$$\text{ferner} \quad g = u^0 t' + 1 = \frac{3}{5} \cdot \frac{2}{5} + 1 = +\frac{31}{25};$$

$$l = u' t' + 1 = -\frac{5}{6} \cdot \frac{2}{5} + 1 = +\frac{2}{3};$$

$$k = u' g + u^0 = -\frac{5}{6} \cdot \frac{31}{25} + \frac{3}{5} = -\frac{13}{30}.$$

Für die Cardinalpunkte der Doppellinse erhält man demgemäss:

$$\begin{aligned} E^0 &= e^0 - \frac{1-l}{k} = e^0 - \frac{1-\frac{2}{3}}{-\frac{13}{30}} = e^0 + \frac{1}{3} \cdot \frac{13}{30} = e^0 + \frac{13}{90} \\ &= N^0 + \frac{5}{16} + \frac{13}{90} = N^0 + 1,08173 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I^0 &= i' + \frac{1-g}{k} = i' + \frac{1-\frac{31}{25}}{-\frac{13}{30}} = i' + \frac{6}{25} \cdot \frac{30}{13} = i' + \frac{180}{13} \\ &= N^2 - \frac{2}{5} + \frac{180}{13} = N^2 + 0,153846 \end{aligned}$$

$$\varphi^0 = \frac{30}{13} = 2,3077.$$

Zweite Doppellinse. Sei $r = 4$, $d^0 = \frac{2}{3}$, $d' = \frac{4}{3}$; dann wird:

$$e^0 = N^3 + \frac{5}{12}, \quad i^0 = N^4, \quad e' = N^4 + \frac{72}{133}, \quad i' = N^5 - \frac{72}{133}, \quad f^0 = -6\frac{2}{3};$$

$$f' = 4\frac{1}{18}. \quad \text{Hieraus erhält man:}$$

$$E' = e^0 + 1,01803 = N^3 + 1,43469$$

$$I' = i' + 0,6193 = N^5 + 0,1487$$

$$\varphi' = 8,77347.$$

Dritte Doppellinse. Sei $r = 10$, $d^0 = \frac{3}{4}$, $d' = \frac{3}{2}$; dann wird:
 $e^0 = N^6 + \frac{15}{32}$, $i^0 = N^7$, $e' = N^7 + \frac{19}{9}$, $i' = N^8 - \frac{19}{9}$, $f^0 = -16\frac{3}{4}$,
 $f' = 10\frac{10}{39}$. Hieraus

$$E'' = e^0 + 1,23456 = N^6 + 1,70331$$

$$I'' = i' + 0,7732 = N^8 + 0,2469$$

$$\varphi'' = 24,6913.$$

- 26 Da nun die zweite und dritte Doppellinse zur Erzielung schwächerer Vergrößerungen zuweilen auch ohne die erste benutzt werden, so erscheint es zweckmässig, vorerst jene beiden zu combiniren und deren Gesamtwirkung als Objectiv etwas näher zu verfolgen. Wir machen zu diesem Ende die weitere Annahme, N^6 falle mit I' zusammen; die zugekehrten Linsenflächen stehen alsdann um 0,1487 von einander ab, so dass die Grösse t' (der Abstand der zugekehrten Hauptpunkte I' und E'') in diesem Fall = 1,70331 wird, während u^0 und u' , wie gewöhnlich, den reciproken Werthen der bezüglichen Brennweiten, nämlich $-\frac{1}{\varphi'}$ und $-\frac{1}{\varphi''}$, gleich zu setzen sind. Für die Abscissen der resultirenden Haupt- und Brennpuncte, die wir mit (E) (E^*) und (F) (F^*) bezeichnen, erhält man hiernach:

$$(E) = E' + 0,470468 = N^3 + 1,905158$$

$$(E^*) = I'' - 1,32419 = N^3 + 3,32143$$

$$(F) = (E) - 6,82064 = N^3 - 4,91548$$

$$(F^*) = (E^*) + 6,82064 = N^8 + 5,74437.$$

Die Brennweite (f) des Objectivs ist also = 6,82064 und der Abstand des Brennpunctes (F) von der Vorderfläche desselben = 4,91548. Soll nun das physische Bild im Mikroskop in einer Entfernung von $p^* = 200^{\text{mm}}$ zu Stande kommen, wie diess annähernd bei den meisten neueren Instrumenten der Fall ist, so kann der Abstand p des Objectes von der ersten Hauptebeue aus der Relation

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$$

leicht bestimmt werden. Man findet $p = 7,06446^{\text{mm}}$, folglich $p - f = 0,24$. Als Vergrößerungszahl ergibt sich

$$m = \frac{f}{f - p} = -28,3.$$

Das negative Vorzeichen deutet, wie bereits erwähnt, auf die verkehrte Lage des Bildes. — Die Gesamtvergrößerung des Mikroskops hängt natürlich mit von der Wirkung des Oculars ab, welche weiter unten näher besprochen werden soll.

Fügen wir jetzt, um das Objectiv zu vervollständigen, noch die erste **27** und stärkste Doppellinse hinzu und wählen wir auch hier den Abstand so, dass die hintere Hauptebene mit der Vorderfläche der zweiten Linse zusammenfällt, so wird für diese Combination

$$u^0 = -\frac{1}{\varphi^0} = -0,43333 \dots,$$

$$u' = -\frac{1}{(f)} = -\frac{1}{6,8206} = -0,1466137$$

und $t' = 1,905158$,

und die Durchführung der Rechnung ergibt als Abscissenwerthe der Haupt- und Brennpunkte, die wir E und E^* , F und F^* nennen wollen:

$$E = E^0 + 0,609039 = N^0 + 1,6907697$$

$$E^* = (E^*) - 1,80008 = N^0 + 3,175196$$

$$F = E - 2,48042 = N^0 - 0,48965$$

$$F^* = E^* + 2,48042 = N^0 - 0,69656$$

Hienach beträgt also die Brennweite bloss 2,48 und der Abstand des Brennpunctes von der Vorderfläche 0,49 Längeneinheiten. Die Objectdistanz sinkt bei einer Tubuslänge von c. 200 auf 0,5 herunter.

Zur Versinnlichung dieser Zahlenverhältnisse ist in Fig. 7 das vorausgesetzte Objectivsystem mit seinen Haupt- und Brennebenen bei öfterlicher Vergrößerung (der Millimeter als Einheit gedacht) dargestellt. Durch punctirte Linien wurden ausserdem die Cardinelebenen (F) (E) (E^*) (F^*) der beiden hintern Linsen und durch kürzere ausgezogene die Hauptebenen der einzelnen Doppellinsen angedeutet.

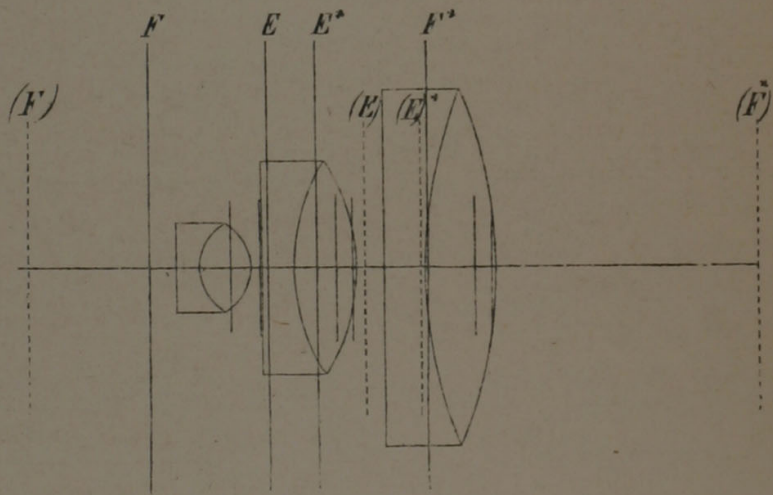


Fig 7.

Die Objectdistanz ist, wie man leicht einsieht, eine vom Focal- **28** abstand abhängige Grösse; sie nimmt — ceteris paribus — mit dem letztern ab und zu und wird demselben bei den stärksten Objectiven nahezu gleich. Mit der Brennweite des Objectivs und der davon abhängigen Vergrößerungszahl steht sie dagegen nicht in unmittelbarem Zusammenhang, und es ist bekannt, dass Instrumente aus verschiedenen Werkstätten rück-sichtlich der Objectdistanz bei übrigens gleicher Stärke oft beträchtlich differiren. Die Frage, welche Umstände auf diese Grösse von Einfluss

seien, ist daher nicht ohne praktisches Interesse. Sie lässt sich nach dem Vorhergehenden leicht beantworten, wenn man aus den Formeln für die Cardinalpunkte des Systems den Focalabstand ($N^0 - F$) bestimmt und für die Grössen l und k ihre Werthe einsetzt. Ist f (wie bisher) die Brennweite des ganzen Objectivs, φ^0 die der ersten Doppellinse und (f) die der beiden übrigen zum System verbundenen Linsen, so hat man

$$f = -\frac{l}{k} = -\frac{1}{u^0 u' t' + u^0 + u'} = \frac{\varphi^0 (f)}{\varphi^0 + (f) - t'}$$

und ebenso erhält man für den ersten Hauptpunkt

$$E = E^0 + \frac{l-1}{k} = E^0 + \frac{u' t'}{u^0 u' t' + u^0 + u'} = E^0 + \frac{t' \varphi^0}{\varphi^0 + (f) - t'}$$

Die Subtraction dieses letztern Werthes vom ersten für die Brennweite ergibt als Focalabstand:

$$N^0 - F = \frac{\varphi^0 [(f) - t']}{\varphi^0 + (f) - t'} - E^0 = \frac{\varphi^0}{1 + \frac{\varphi^0}{(f) - t'}} - E^0$$

Werden die Linsen und folglich auch ihre Hauptpunkte und Brennweiten als gegeben betrachtet, so erreicht offenbar $N^0 - F$ einen um so grössern Werth, je kleiner t' , denn der Nenner $1 + \frac{\varphi^0}{(f) - t'}$ nimmt mit t' ab und zu. Der Focalabstand ist also am grössten, wenn t' möglichst klein, d. h. wenn die erste Linse der zweiten so viel als thunlich genähert wird. Diese Annäherung, die natürlich in der Berührung der beiden Linsen ihre Grenze findet, bedingt zugleich eine Verkleinerung der Brennweite, weil der für letztere gefundene Ausdruck mit t' steigt und fällt. Das Zusammenschieben der Linsen gewährt also einen doppelten Vortheil: eine stärkere Vergrösserung und trotzdem einen grösseren Focalabstand. Und zwar gilt diess nicht bloss für die erste und zweite Linse, sondern auch für die zweite und dritte; denn da die eben entwickelten Formeln für zwei beliebige Systeme von Cardinalpunkten Geltung haben, so müsste die Combination der dritten Linse mit den beiden vordern rücksichtlich der hier auftretenden Grösse t' zu denselben Folgerungen führen. Es geht diess auch aus der Formel für die Brennweite, auf (f) angewendet, hervor. Dieselbe wird um so kleiner, je geringer die Entfernung der betreffenden Hauptpunkte (hier I' und E''). Der kleinste Werth von (f) entspricht aber, wie ein Blick auf den Werth von $N^0 - F$ zeigt, der grössten Objectdistanz (wobei freilich die erlaubte Voraussetzung gemacht ist, dass $(f) > t'$).

Es ist einleuchtend, dass die besprochene Annäherung der zugekehrten Hauptpunkte auf jede Combination von brechenden Vorrichtungen, und daher auch auf die einzelnen Kron- und Flintglaslinsen, sich ausdehnen lässt. Da nun bei letztern der Abstand der Hauptpunkte von der Berührungsfläche mit der Dicke zu- und abnimmt, so folgt daraus, dass behufs Vergrösserung des Focalabstandes die Flint- und Kronglaslinsen möglichst

dünn gemacht werden müssen, wodurch dann zugleich eine stärkere Vergrößerung erzielt wird.

Der Focalabstand und mit ihm die Objectdistanz wird also unter übrigens gleichen Umständen um so grösser, je geringer die Abstände der brechenden Flächen.

Damit ist indessen nicht gesagt, dass die Summe der Abstände maassgebend sei; es versteht sich vielmehr von selbst, dass die stärkeren Linsen auch in dieser Beziehung vorzugsweise ins Gewicht fallen.

Die Brechungscoefficienten des Flint- und Kronglases wurden im Vor- **29** hergehenden zu 1,6 und 1,5 angenommen. Dass eine Aenderung dieser Zahlen nicht ohne Einfluss auf die Lage der optischen Cardinalpunkte sein kann, ist von vorn herein einleuchtend, und es hält auch nicht schwer, sich im Allgemeinen die Wirkung der Zu- oder Abnahme klar zu machen. Eine Vergrößerung der Brechungscoefficienten verstärkt natürlich, wenn das Verhältniss zwischen Kron- und Flintglas dasselbe bleibt, und noch mehr, wenn bloss das Kronglas veränderlich gedacht wird, die optische Wirkung der einzelnen Linsen und setzt dem entsprechend bei gleichem Effect schwächere Krümmungen voraus. Sie wirkt also gleichsam wie eine Annäherung der brechenden Flächen, indem sie das Verhältniss der Linsendicke zu den Krümmungsradien oder zur optischen Wirkung verkleinert. Bei gleicher Stärke des Objectivs wird also der Focalabstand ceteris paribus um so beträchtlicher, je grösser der Brechungscoefficient der Linsensubstanz; bei gleichen Krümmungen nimmt die Vergrößerungszahl mit dem Brechungscoefficienten zu, während die Objectdistanz je nach Umständen zu- oder abnimmt.

Betreffend die Maassbestimmung dieser Einflüsse, sind in nachstehender Uebersicht, um wenigstens einige Anhaltspunkte zu bieten, die wichtigsten Elemente unseres Objectivsystems für die in den beiden ersten Columnen angegebenen Fälle zusammengestellt. Die Form der Linsen und der Brechungscoefficient des Flintglases (1,6) wurden dabei als constant betrachtet, die Entfernungen e_1 und e_2 der Doppellinsen dagegen (e_1 zwischen der vorderen und mittleren, e_2 zwischen dieser und der letzten), sowie ferner die Brechungscoefficienten n_1 , n_2 und n_3 der Kronglaslinsen als variabel. Wir werden in der Folge von den hier erwähnten Combinationen diejenige auswählen, welche zur Beseitigung der Aberrationen am geeignetsten erscheint.

Gegeben.		Brennweite.	Focalabstand.	Objectdistanz.	$E^* - E$	Vergrößerung.
	e_1					
$\left. \begin{array}{l} e_2 = 0,4487 \\ n_1 = n_2 = n_3 \\ = 1,50 \end{array} \right\}$	0,4538	2,1804	0,4896	0,51379	1,48442	90,725
	1,0000	2,4682	0,3908	0,4220	0,80137	80,0297
$\left. \begin{array}{l} e_2 = 0,50 \\ n_1 = 1,50 \\ n_2 = n_3 = 1,52 \end{array} \right\}$	0,4538	2,2469	0,4719	0,50026	0,99742	88,0096
	1,0000	2,5528	0,3692	0,4022	0,21753	77,3452
$\left. \begin{array}{l} e_2 = 0,50 \\ n_1 = n_2 = n_3 \\ = 1,52 \end{array} \right\}$	0,4538	2,4469	0,4274	0,453	0,94787	92,4555
	1,0000	2,4522	0,3346	0,368	0,4179	80,5594

2. Das Ocular.

- 30 Die Oculare haben zunächst den Zweck, die divergenten Strahlenbündel, welche das reelle Objectivbild erzeugen, so zu lenken, dass die Pupille des beobachtenden Auges sie sämtlich aufzufangen vermag. Sie haben überdiess der selbstverständlichen Anforderung zu genügen, von dem ihnen als Object gebotenen Luftbilde unter den gegebenen Verhältnissen ein möglichst vollkommenes virtuelles Bild zu entwerfen. Es ist nun ohne Weiteres klar, dass eine einzelne Linse diese letztere Bedingung nur für das Centrum des Gesichtsfeldes in befriedigender Weise erfüllt, für die peripherischen Punkte dagegen, weil die von hier ausgehenden Strahlenbündel den Rand der Linse durchsetzen, eine störende Farbenabweichung hervorruft. Aus diesem Grunde werden die Oculare der neuern Mikroskope in der Regel aus zwei Linsen zusammengesetzt, welche in gemeinsamer Fassung so angebracht sind, dass ihre Aberrationen sich gegenseitig nahezu aufheben. Die Combination dieser Linsen lässt in optischer Hinsicht einige Modificationen zu, von denen wir folgende hervorheben.

a. Das Campani'sche Ocular.

- 31 Das sogenannte Campani'sche Ocular besteht bekanntlich aus zwei einfachen Planconvexlinsen, wovon die untere als Collectiv-, die obere als Ocularglas bezeichnet wird. Jenes fängt die vom Objectiv kommenden convergirenden Strahlen auf, ehe sie sich zum Bilde vereinigt haben; es bewirkt das Zustandekommen des letzteren innerhalb der Brennweite der Ocularlinse, so dass es durch diese wie durch eine Loupe betrachtet werden kann.

Für die mathematische Betrachtung des Oculars ist es vollkommen gleichgültig, in welcher Weise dasselbe mit dem Objectiv combinirt wird.

Man kann z. B. zunächst das Collectiv in Rechnung bringen und hierauf die Ocularlinse mit dem resultirenden System verbinden, oder umgekehrt zuerst die Wirkung des ganzen Oculars bestimmen und dann erst die Combination mit dem Objectiv vornehmen. Wir wählen das Letztere.

Seien die Brennweiten der Collectiv- und Ocularlinse beziehlich 40 und 30^{mm}, ihre Dicke 3 und 2^{mm}. Bezeichnet man nun mit $E^0 I^0$ und $E' I'$ die beiden Paare von Hauptpunkten und mit $N^0 N^1 N^2 N^3$ die Scheitel der brechenden Flächen in ihrer Reihenfolge von unten nach oben, so erhält man, wenn der Brechungscoefficient der Linsen zu 1,5 und der gegenseitige Abstand derselben zu 43^{mm} angenommen wird:

$$E^0 = N^0, \quad I^0 = N^0 + 1;$$

$$E' = N^2, \quad I' = N^2 + \frac{2}{3},$$

folglich $t' = E' - I^0 = 45,$

und hieraus für die resultirenden Haupt- und Brennpuncte $E E^* F F^*$:

$$E = E^0 + 72 = N^3 + 24; \quad E^* = I' - 54 = N^3 - 55\frac{1}{3}$$

$$F = N^3 - 24; \quad F^* = N^3 + 71\frac{1}{3}$$

$$E - F = F^* - E^* = 48.$$

Mit Rücksicht auf dieses System von Cardinalpuncten, welche das **32** Ocular als Ganzes repräsentiren, ist natürlich nicht das wirklich zu Stande kommende physische Bild, sondern dasjenige, welches das Objectiv für sich allein (ohne Mitwirkung der Collectivlinse) entwerfen würde, als Object zu betrachten und zwar als ein virtuelles, weil es hinter die erste brechende Fläche des Systems fällt. Seine Lage ist durch das schliessliche virtuelle Bild der Ocularlinse bestimmt, welches für jeden Beobachter um die Weite des deutlichen Sehens vom Auge absteht; sie muss also, da die Sehweite keine bestimmte Grösse ist, für jedes Auge eine andere sein. Nehmen wir, um eine bestimmte Vorstellung zu haben, an, das virtuelle Bild falle in eine Ebene, deren Entfernung von der letzten Fläche des Oculars 200^{mm} beträgt, wonach also die Vereinigungsweite $p^* = 444\frac{2}{3}$ ^{mm} zu setzen ist, so erhält man als conjugirten Werth $p = 36,041$ ^{mm}.

Das reelle Bild des Objectivs müsste hienach in einem Abstand von 12,041^{mm} von der letzten Fläche des Oculars zu Stande kommen, um von dem beobachtenden Auge in der angenommenen Entfernung von 200^{mm} gesehen zu werden. Die Ocularvergrösserung m' , die unter diesen Umständen hervorgebracht wird, ist gegeben durch

$$m' = \frac{f}{f-p} = 4,04.$$

Hat nun das Mikroskoprohr eine solche Länge, dass die oben zu 200^{mm} angenommene hintere Vereinigungsweite des Objectivs der eben bezeichneten Lage des Objectivbildes zum Ocular entspricht, so ist, wie leicht einzusehen, die Gesamtvergrösserung des Mikroskops das m' -fache der oben gefundenen Objectivvergrösserung. Für jede andere Länge des Mikroskoprohrs dagegen muss vorerst die dem Ocular entsprechende hintere Ver-

einigungsweite p^* des Objectivs berechnet und hienach die Vergrößerungszahl reducirt werden. Ist z. B. die letzte Fläche des Oculars 200^{mm} von der ersten des Objectivs entfernt und der zweite Hauptpunkt des letzteren in einem Abstand von $2,4044$ von der Vorderfläche, so erhält man für p^* den Werth $200 - (12,044 + 2,4044) = 185,558$ und hieraus eine Objectivvergrößerung $m = 1 - \frac{p^*}{f} = 81,584$, welche letztere Ziffer, mit $4,04$ multiplicirt, die Gesamtvergrößerung des Mikroskops giebt.

- 33** Die Gesamtvergrößerung eines Mikroskops ist keine bestimmte Zahl, die sich ein für alle Mal feststellen liesse. Sie hängt von der Sehweite des beobachtenden Auges ab und kann daher, weil das letztere innerhalb gewisser Grenzen accommodationsfähig ist, nicht einmal für denselben Beobachter als eine constante Grösse betrachtet werden. Namentlich erleidet die Ocularvergrößerung sehr bedeutende Schwankungen. Die Ziffer $4,04$, welche einer Sehweite von 200^{mm} entspricht, sinkt z. B. für ein kurzsichtiges Auge von 100^{mm} Sehweite auf $1,93$ herunter. Aber auch die Objectivvergrößerung bleibt nicht ganz constant, da mit der Sehweite auch die Lage des reellen Bildes und dadurch das Verhältniss der vorderen zur hinteren Vereinigungsweite sich ändert. Der Kurzsichtige bringt das Objectivbild der Ocularlinse näher, um dadurch auch das schliessliche virtuelle Bild näher zu rücken; er vergrößert also die hintere Vereinigungsweite des Objectivs und verkleinert in Folge dessen die vordere. Die Objectivvergrößerung wird demnach verstärkt, während die Ocularvergrößerung geschwächt wird. Da jedoch das Letztere in weit höherem Grade stattfindet, so ist das schliessliche virtuelle Bild um so kleiner, die Gesamtvergrößerung folglich um so geringer, je kürzer die Sehweite. Zur Vergleichung sind nachstehend die Vergrößerungszahlen für verschiedene Sehweiten zusammengestellt. Die Tubuslänge von der ersten bis zur letzten brechenden Fläche wurde dabei zu 200^{mm} und die Objectivvergrößerung für den Fall, dass $p^* = 200^{\text{mm}}$, zu $88,0096$ angenommen (siehe die Tabelle auf pag. 28).

Sehweite.	p^*	Objectiv- vergrößerung.	Ocular- vergrößerung.	Gesamt- vergrößerung.
200	185,558	81,584	4,04	327,452
150	194,551	85,586	2,97	254,49
100	198,462	86,921	1,93	167,75

Aus dieser Zusammenstellung geht zunächst hervor, dass die Ocularvergrößerung zur Sehweite in annähernd proportionalem Verhältniss steht, während die Objectivvergrößerung geringe Schwankungen im umgekehrten Sinne zeigt. Daraus folgt natürlich, dass auch die Gesamtvergrößerung mit der Sehweite steigt und fällt; allein die mathematische Beziehung

ist damit noch keineswegs gegeben, und ein Blick auf die letzte Columne genügt, um sich zu überzeugen, dass das Verhältniss der Vergrößerungsziffern um mehrere Einheiten von dem der Sehweiten abweicht. Es wäre nun eine Sache der Rechnung, zu untersuchen, ob und in welchem Grade diese Abweichungen noch fortbestehen, wenn statt der letzten Fläche des Oculars ein nahe liegender Punkt der Axe, welcher ungefähr der Lage des Auges während der Beobachtung entspricht, als Ausgangspunkt bei Bestimmung der Sehweiten gewählt würde. Auf diese Weise könnte durch arithmetische Beispiele gezeigt werden, in wie weit die von verschiedenen Beobachtern gefundenen Vergrößerungsziffern differiren können, wenn die Reduction auf die nämliche conventionelle Sehweite durch eine einfache Proportion geschieht.

Wir halten es indess für zweckmässiger, die Frage einer mehr mathe- 34
matischen Betrachtung zu unterziehen, indem wir die Wirkung des Objectivs und des Oculars auf ein einziges System von Cardinalpunkten zurückführen. Da die Combination genau in derselben Weise geschieht, wie bisher, so mag es genügen, wenn wir hier bloss die Ergebnisse der Rechnung zusammenstellen. Wir bezeichnen die neuen Hauptpunkte mit E^0 und E^* , die Brennpunkte mit F^0 und F^* und die erste und letzte brechende Fläche des Mikroskops, deren Abstand 200^{mm} betragen soll, beziehlich mit N^0 und N^* . Dann ist

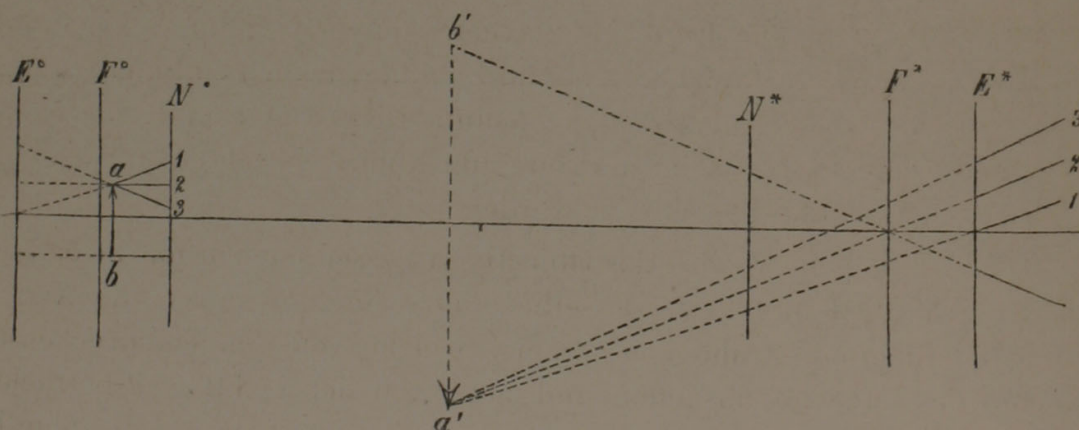
$$E^0 = N^0 - 1,4283 \quad E^* = N^* + 6,727$$

$$F^0 = N^0 - 0,5174 \quad F^* = N^* + 6,416$$

$$\text{Brennweite} = 0,644 .$$

Das resultirende System stellt sich also, wie zu erwarten war, als ein dispansives heraus, d. h. es liefert von reellen Objecten nur virtuelle Bilder. Die Brennpunkte stehen nämlich (im Gegensatz zu allen früheren Combinationen) weniger weit von einander ab als die zugehörigen Hauptpunkte.

Wie bei einem solchen System die letzten Wege der Strahlen zu con-



Figur 8.

struiren sind, ist in Figur 8 veranschaulicht; $a b$ ist das Object, $a' b'$ das virtuelle Bild. Die beiderseits mit 1, 2, 3 bezeichneten Linien entsprechen

sich; sie schneiden die Hauptebenen E^0 und E^* in gleichen Abständen von der optischen Axe und sind in ihrer Richtung durch die bekannten Brechungsgesetze bestimmt.

Ist nun p^* der Abstand des Bildes von der zweiten Hauptebene und f die Brennweite, so ist die Vergrößerungsziffer durch die allgemeingültige Formel $m = 1 - \frac{p^*}{f}$ gegeben, wobei das negative Vorzeichen auf die Umkehrung des Bildes deutet. Betrachtet man m als positiv, so wird dieser Ausdruck

$$m = \frac{p^*}{f} - 1 = \frac{p^* - f}{f},$$

aus welcher letzteren Formel sich ohne Weiteres folgende Beziehung ableiten lässt:

Befindet sich das beobachtende Auge im zweiten Brennpunct des Mikroskops, so dass die Sehweite durch $p^* - f$ ausgedrückt wird, so ist die Vergrößerungsziffer dieser Sehweite genau proportional. Mit andern Worten: die virtuellen Bilder, welche das Mikroskop bei verschiedenen Einstellungen (für kurzsichtige und weitsichtige Augen) entwirft, werden vom zweiten Brennpunct aus unter dem nämlichen Winkel gesehen und müssen sich demnach vollkommen decken.

- 35** Die Gesamtwirkung des Mikroskops ist im Vorhergehenden vollständig festgestellt. Es bleibt uns jetzt noch übrig, den wirklichen Gang der Lichtstrahlen im Oculareinsatz und nach dem Austritt aus der Ocularlinse zu verfolgen. Da das Objectivbild, welches für das Ocular das virtuelle Object darstellt, bei einer Sehweite von 200^{mm} in einer Entfernung von $12,044^{\text{mm}}$ von der ebenen Fläche der Ocularlinse gedacht werden muss, so lässt sich die Lage des vom Collectiv entworfenen physischen Bildes leicht berechnen. Ist die Brennweite desselben, wie oben angenommen, 40^{mm} , so erhält man aus dem gegebenen Abstand des virtuellen Objectes ($= 49 - 12,12044 = 35,959$) eine conjugirte Vereinigungsweite von $18,936^{\text{mm}}$. Diess ist die Entfernung, vom zweiten Hauptpunct des Collectivs an gerechnet, in welcher das wahre Bild wirklich zu Stande kommt und in welcher daher auch das sogenannte Diaphragma und das Ocularmikrometer angebracht sein müssen, um vom Beobachter mit gleicher Schärfe, wie das Bild, gesehen zu werden.

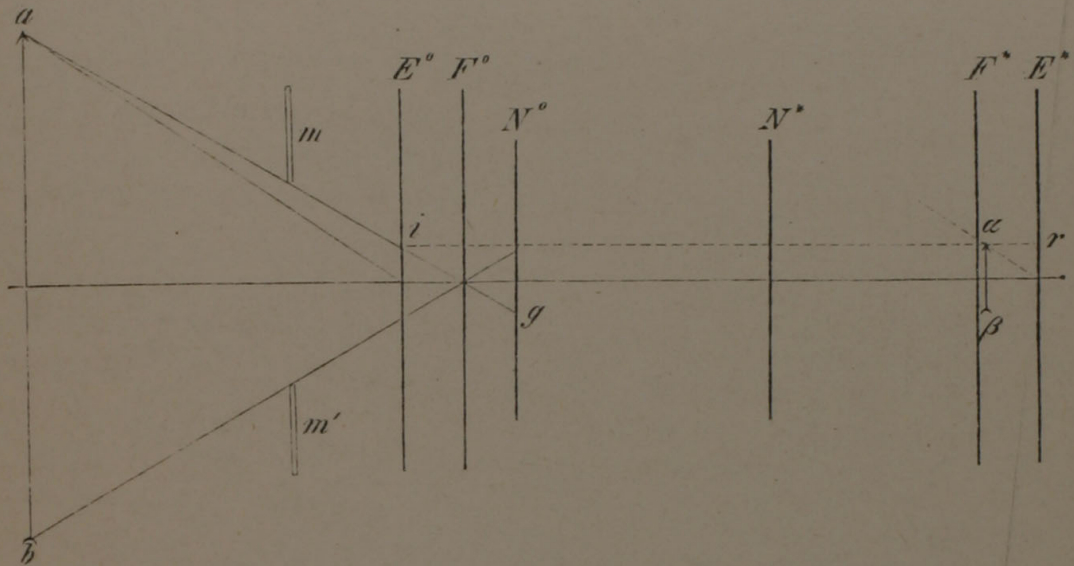
Die Lichtkegel, welche das Objectiv verlassen, stehen mit ihrer Basis auf der zweiten Hauptebene desselben; ihre Neigung gegen die Axe ist durch die Richtungsstrahlen bestimmt, welche von den entsprechenden Punkten des Objectes ausgehen und als Axen der Lichtkegel betrachtet werden können. Da nun diese Axen sämmtlich von einem Punkte, nämlich vom zweiten Hauptpunct des Objectivs, ausgehen, so müssen sie sich nach der Brechung im Ocular auch in einem Punkte schneiden, und zwar ist dieser letztere Punct das Bild des ersteren. Seine Lage ist für die

Collectivlinse allein durch die bekannte Relation bestimmt: $\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$, wobei p laut früheren Annahmen über die Tubuslänge und die Lage der in Betracht kommenden Hauptpunkte $= 200 - (48 + 2,4044) = 149,5989$ und $f = 40^{\text{mm}}$ beträgt. Man erhält $p^* = 54,598^{\text{mm}}$ und indem man den hierdurch bestimmten Punkt als virtuelles Object der Ocularlinse betrachtet, ergiebt die Rechnung als Abscissenwerth des schliesslichen reellen Bildpunktes $N^* + 5,938$, wobei N^* die letzte brechende Fläche des Oculars.

Die Axen der Lichtbündel, welche den verschiedenen Punkten des Objectes entsprechen, schneiden sich also sämmtlich in einem Punkte, welcher c. 6^{mm} über der Ocularlinse liegt. Man kann diesen Punkt den Augenpunkt nennen. Eine in ihm senkrecht zur Axe errichtete Ebene wird von jedem einzelnen Lichtkegel im Allgemeinen in einer Ellipse, von allen zusammen dagegen in einem Kreise geschnitten, dessen Durchmesser bei gegebenen optischen Constanten vom Oeffnungswinkel des Mikroskops abhängt. Ist der letztere z. B. 60° , so wird der erstere etwas grösser als $\frac{1}{2}^{\text{mm}}$; beide nehmen gleichzeitig zu und ab. Da nun die Pupille des beobachtenden Auges einen beträchtlich grösseren Durchmesser besitzt, so leuchtet ein, dass dieselbe nicht nothwendig in den Augenpunkt, sondern bloss in dessen Nähe gebracht werden muss, um sämmtliche Strahlen der austretenden Lichtkegel auf die Netzhaut gelangen zu lassen.

Da der Augenpunkt bis auf einen kleinen Bruchtheil eines Millimeters **36** mit dem zweiten Brennpunkt zusammenfällt, so wird seine Lage in sehr augenfälliger Weise durch das reelle Bildchen der Lichtquelle bezeichnet, welches über dem Ocular zu Stande kommt. Benutzen wir z. B. als Lichtquelle ein nahes Fenster oder dessen Bild im Spiegel des Mikroskops, so sehen wir im Niveau des Augenpunktes bei entsprechender Spiegelstellung das scharfe Bildchen der Fensterrahmen oder anderer Gegenstände, die im Bereich der wirksamen Strahlen liegen, zum Vorschein kommen. Der Durchmesser dieses Bildchens, der sich mit Hülfe der in Fig. 8 angewandten Constructionsmethode leicht bestimmen lässt, entspricht demzufolge der kleinsten Querschnittsfläche der ausfahrenden Lichtkegel im Niveau des Augenpunktes, oder anders ausgedrückt: mit dem Oeffnungsbildchen über dem Ocular ist zugleich die fragliche Querschnittsfläche gegeben. Es mag daher am Platze sein, die Construction dieses Bildchens für einen bestimmten Fall, der die im Vorhergehenden gefundenen Constanten als gegeben enthält, auszuführen und damit zugleich den Zusammenhang zwischen dem Oeffnungswinkel und der Grösse der Bildfläche in anschaulicher Weise zu erläutern. Es sei in Fig. 9 ab die Lichtquelle, deren Ausdehnung durch die Blendung mm' begrenzt ist. Der Winkel, unter welchem die von den Punkten a und b kommenden Strahlen sich im Focus des Mikroskops schneiden, sei $= 60^\circ$ und der Oeffnungswinkel des Objectivs mindestens ebenso gross. Ziehen wir nun vom Punkt i , wo der durch

den Focus gehende Strahl ag die vordere Hauptebene schneidet, eine Parallele ir mit der Axe, so entspricht dieselbe dem Weg des einfallenden Strahls. Ein zweiter Strahl, der von a nach dem vordern Hauptpunkt gezogen wurde, geht mit gleicher Neigung durch den hintern Hauptpunkt und schneidet den andern Strahl im Punct α , welcher folglich als Bildpunct



Figur 9.

zu betrachten ist. Ebenso erhält man β ; $\alpha\beta$ ist somit das Bild der Lichtquelle. Dasselbe kommt natürlich der Focalebene F^* um so näher zu liegen, je grösser die Entfernung von ab ; dagegen bleibt sein Durchmesser unverändert, so lange der Winkel der einfallenden Randstrahlen, wie wir angenommen, $= 60^\circ$ beträgt. Wir haben daher bloss nöthig, diesen constanten Durchmesser für den denkbar einfachsten Fall zu bestimmen, welcher offenbar dann eintritt, wenn der Abstand der Lichtquelle unendlich gross ist und folglich ihr Bild in die Focalebene fällt. Alsdann ist, wie leicht einzusehen, der halbe Durchmesser des Bildes gegeben durch die Länge der trigonometrischen Tangente des halben Oeffnungswinkels, bezogen auf einen Radius, welcher dem Abstände E^*F^* , d. h. der Brennweite des Mikroskops gleich ist. Man hat also für den ganzen Durchmesser:

$$\alpha\beta = 2 \cdot \frac{\tan 30^\circ}{r} \cdot \text{Brennweite} = 2 \cdot 0,577 \cdot 0,611 = 0,7\text{mm};$$

oder wenn für die Tangente, was richtiger ist *), der Sinus gesetzt wird:

$$\alpha\beta = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,611 = 0,611\text{mm}.$$

- 37 Die Lage des Augenpunctes ist gewissermaassen bei jedem Mikroskop vorgezeichnet; sie muss stets so gewählt werden, dass wenn der Beobachter sein Auge in die gewohnte Entfernung von der Ocularlinse bringt, alle ausfahrenden Strahlen zum schliesslichen virtuellen Bilde beitragen, so dass das ganze Gesichtsfeld gleichmässig beleuchtet erscheint. Die Brenn-

*) Vgl. pag. 20.

weite der Collectivlinse muss also jedenfalls so gross sein, dass der Bildpunct, welcher dem zweiten Hauptpunct des Objectivs entspricht, wenigstens 10—20^{mm} über die Ocularlinse zu liegen kommt; denn da die letztere die Convergenz der Strahlen noch verstärkt, so ist der Abstand des genannten Bildpunctes stets etwas grösser als der des Augenpunctes.

An der Stelle, wo das Objectivbild unter Mitwirkung der Collectivlinse 38 wirklich zu Stande kommt, wird bekanntlich ein Diaphragma mit kreisförmiger centraler Oeffnung angebracht. Dasselbe bildet gleichsam den Rahmen des Objectivbildes und bestimmt also mit der Ocularlinse die Grösse des Gesichtsfeldes. Der Durchmesser des letztern ist gleich dem Durchmesser der Diaphragma-Oeffnung, multiplicirt mit der Vergrösserungszahl der Ocularlinse, welche je nach Lage und Sehweite des Auges einen andern Werth annimmt.

b. Das Ramsden'sche Ocular.

Fast alle neuern Mikroskope sind mit dem besprochenen Campani- 39 schen Oculare, da es allgemein als das passendste für ein aplanatisches Mikroskop gilt, ausgestattet. Unter besonderen Umständen jedoch werden auch andere Einrichtungen des Oculars, worunter diejenige von Ramsden die bekannteste ist, mit Vortheil angewandt.

Das Ramsden'sche Ocular besteht aus zwei planconvexen Linsen, deren gewölbte Flächen einander zugekehrt sind. Die Entfernung derselben ist so klein, dass sie zusammen wie ein Doublet wirken, dessen vergrössernde Kraft einer einzigen stärker gekrümmten Linse gleichkommt. Dem entsprechend muss das Object so eingestellt werden, dass das Objectivbild in geringer Entfernung vor dem untersten Glase, also zwischen diesem und dem Objectiv, zu Stande kommt.

Der Gang der Lichtstrahlen durch ein solches Doublet lässt sich bei gegebenen Abständen und Krümmungen der brechenden Flächen genau in derselben Weise ermitteln, wie beim Campani'schen Ocular. Werden z. B. die nämlichen zwei Linsen, die wir im Vorhergehenden als Collectiv- und Ocularglas vorausgesetzt haben, nach Ramsden'schem Princip combinirt, und beträgt der Abstand der zugekehrten Hauptpuncte 20^{mm}, so erhält man für die Brennweite des Systems 24^{mm} und für die beiden Hauptpuncte $E = N^0 + 18$ und $E^* = N^0 + 11$, wobei N^0 die erste brechende Fläche des Oculars bezeichnet. Der zweite Hauptpunct liegt also 7^{mm} vor dem ersten. — Es versteht sich übrigens auch hier von selbst, dass der Optiker darauf zu sehen hat, den Augenpunct durch richtige Wahl der Brennweiten in eine für die Beobachtung bequeme Lage zu bringen.

Die Vereinigung zweier Linsen zur Loupe, wie wir sie in der Einrichtung von Ramsden verwirklicht sehen, gewährt den Vortheil, dass das Objectivbild nicht erst verkleinert, vielmehr durch jede der beiden Linsen vergrössert wird. Das schliessliche virtuelle Bild (von der Blendung als

Rahmen umschlossen) erscheint daher, wenn man Linsen mit denselben Krümmungen und Oeffnungen voraussetzt, wie oben beim Campani'schen Ocular, beträchtlich grösser als bei diesem letztern, d. h. mit andern Worten: das Ocular von Ramsden giebt unter übrigens gleichen Umständen ein grösseres Gesichtsfeld. Es gestattet überdem eine beinahe vollkommene Beseitigung der Bildverzerrung und eignet sich daher besonders zu Messungen mit dem Ocularmikrometer.

Diesen Vorzügen steht nun allerdings ein kleiner Nachtheil gegenüber. Der Umstand, dass das Objectivbild der Oberfläche der unteren Linse sehr nahe liegt, hat nämlich die unangenehme Folge, dass die geringsten Fehler der Politur, kleine Risse, Stäubchen etc. auch im Gesichtsfelde auftreten und dadurch die Klarheit des Bildes beeinträchtigen. Wir haben indess nicht gefunden, dass dieser Uebelstand bei einem auch nur mit der gewöhnlichsten Sorgfalt gereinigten Ocular wirklich störend sei. Jedenfalls ist derselbe nicht hoch anzuschlagen. Alles wohl erwogen, wüssten wir in der That nicht, warum das Ramsden'sche Ocular nicht in jedem beliebigen Falle ein Campani'sches ersetzen könnte.

c. Das aplanatische und das orthoskopische Ocular.

- 40 In den Preisverzeichnissen einiger Optiker figuriren ausser dem gewöhnlichen Campani'schen auch aplanatische und orthoskopische Oculare, welche durch eine vollkommenere Ebenung des Gesichtsfeldes sich auszeichnen. Von diesen Ocularen ist uns nur das aplanatische von Plössl näher bekannt. Dasselbe unterscheidet sich vom gewöhnlichen Ramsden'schen Ocular eigentlich bloss durch die aplanatischen Linsen. Es stellt nämlich eine aus zwei Doppellinsen zusammengesetzte Loupe dar, deren ebene Endflächen c. 23^{mm} von einander abstehen und deren Vergrösserung ungefähr $4\frac{1}{2}$ beträgt. Das Bild, welches dieses Ocular gewährt, ist in der That in seiner ganzen Ausdehnung scharf, gleichmässig vergrössert (nicht verzerrt) und nur sehr schwach gekrümmt.

Wahrscheinlich sind die aplanatischen Oculare von Schieck, Schröder u. A. im Wesentlichen ähnlich construiert. Im Schröder'schen Preisverzeichniss wird wenigstens ausdrücklich bemerkt, dass die aplanatischen Oculare aus zwei Achromaten bestehen, während die sogenannten orthoskopischen derselben Firma bloss eine achromatische Linse besitzen. Die orthoskopischen Oculare von Kellner dagegen stimmen mit der Campani'schen Einrichtung überein, indem sie aus einem achromatischen biconvexen Collectiv und einer gewöhnlichen Ocularlinse bestehen. Sie gewähren ein grosses und von Bildverzerrung freies Gesichtsfeld, ohne jedoch die sonstigen Leistungen merklich zu steigern. Dasselbe gilt auch für die »periskopischen« Oculare von Seibert und Krafft. Man darf sich überhaupt nicht einbilden, durch irgend eine Ocularconstruction mehr erreichen zu können als nebensächliche Vortheile, wie z. B. eine vollständigere Ebenung

des Gesichtsfeldes u. dgl. Von einer wirklichen Steigerung des optischen Vermögens kann trotz aller gegentheiligen Angaben von vorne herein gar nicht die Rede sein.

Die Benennungen »aplanatisch« und »orthoskopisch« scheinen übrigens, soweit wir die Sache kennen, so ziemlich dasselbe zu bedeuten. Um die Verzerrung des Bildes zu beseitigen, müssen die einfallenden Strahlenbündel so gelenkt werden, dass ihre Richtungslinien die optische Axe in demselben Punkte schneiden (s. hierüber das Kapitel von der Ebenung des Gesichtsfeldes). Das Ocular muss also aplanatisch sein. Da nun an orthoskopischen Ocularen gerade das Freisein von Verzerrungen besonders gerühmt wird, so scheint ihr Hauptvorteil ebenfalls darin zu liegen, dass sie aplanatisch sind. Und wenn sie auch ausserdem die Krümmung der Bildfläche in vollkommenerem Grade aufheben, als die aplanatischen Oculare von Plössl u. A., was wir dahingestellt sein lassen, so ist doch der Ausdruck »orthoskopisch« nicht sehr bezeichnend, da er von einzelnen Optikern auch für bildumkehrend, resp. aufrichtend, also in einem ganz anderen Sinne gebraucht wird. — Auch die sogenannten achromatischen und die periskopischen Oculare sind offenbar in erster Linie aplanatisch. Durch geeignete Combination der Linsen kann aber gleichzeitig auch die Achromasie und die grössere Ausdehnung des Gesichtsfeldes erzielt werden.

Welche Vortheile oder Annehmlichkeiten die aus einem einzigen Glasstück bestehenden »holosterischen oder Vollglasoculare« darbieten, ist uns nicht bekannt. Die meisten derselben vergrössern sehr stark, das Hartnack'sche nach Frey c. 40mal, die amerikanischen von Tolles nach Hagen*) 7 bis 50mal und darüber, — jedenfalls eine höchst überflüssige Steigerung.

d. Das bildumkehrende Ocular.

Da die umgekehrte Lage, welche das zusammengesetzte Mikroskop den 41 Bildern giebt, wenn auch nicht die Untersuchung, so doch das Präpariren der Objecte auf dem Objecttisch erschwert, so haben die neueren Optiker es versucht, auf katoptrischem oder dioptrischem Wege eine Wiederumkehrung des Bildes zu bewerkstelligen. Das einfache Mikroskop, welches sonst gewöhnlich zu Zergliederungen benutzt wird, sollte auf diese Weise verdrängt und durch ein besseres Instrument ersetzt werden, welches insbesondere den wichtigen Vortheil eines grösseren Focalabstandes gewährt. Die Verwirklichung dieser Idee wurde in folgender Weise erzielt.

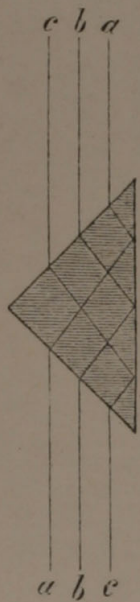
Man fügte zu dem gewöhnlichen Ocular noch zwei Linsen hinzu, welche in gemeinsamer Fassung, die convexe Seite nach oben gewendet, in die Mikroskopröhre eingesetzt wurden. Das ganze Ocular erhielt dadurch dieselbe Einrichtung, wie beim terrestrischen Fernrohr, und musste also auch

*) Archiv f. mikrosk. Anat. VI, pag. 215.

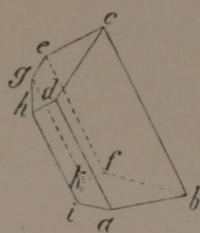
wie dieses eine Wiederumkehrung des Objectivbildes bewirken. Instrumente mit solchen Ocularen liefert gegenwärtig Plössl in Wien und zwar in zwei verschiedenen Modellen (Nr. 8 und 9 des Catalogs), von denen das kleinere 70- bis 150fache, das grössere bis 300fache Linearvergrößerung gestattet. Die Steigerung der Vergrößerungsziffern geschieht hier einfach durch Ausziehen des Ocularrohres.

- 42 Eine andere Methode, welche Oberhäuser zuerst anwandte, besteht darin, ein vollständiges zusammengesetztes Mikroskop mit schwacher Vergrößerung als Ocular zu benutzen und dasselbe dem Objectiv so weit zu nähern, dass das von letzterem entworfene reelle Bild in geringer Entfernung von demselben zu Stande kommt. Es leuchtet ein, dass auf diese Weise ein Objectabstand gewonnen wird, welcher bis zu ziemlich starken Vergrößerungen den freiesten Gebrauch der Präparirinstrumente gestattet. Dagegen lässt sich erwarten, dass die Schärfe der Bilder im Vergleich mit denen eines gewöhnlichen Mikroskops Manches zu wünschen übrig lässt. Solche Dissectionsmikroskope werden von Hartnack, dem Nachfolger Oberhäuser's, gegenwärtig noch geliefert; sie sind mit drehbarem Tisch ausgestattet und gewähren eine 40- bis 100malige Vergrößerung.

- 43 Endlich lässt sich die Umkehrung des Bildes auch durch reflectirende Prismen erzielen, welche entweder über dem Ocular oder in der Mikroskopröhre angebracht werden. Die Wirkung eines solchen Prismas mit zwei rechtwinklig zusammenstossenden Flächen ist in Fig. 40 veranschaulicht. Dasselbe bedingt, wie man sieht, eine Umkehrung mit Rücksicht auf rechts und links, bringt dagegen in der Richtung senkrecht zur Papierfläche keine Veränderung hervor. Um die Umkehrung zu vervollständigen, muss daher ein zweites rechtwinklig zum ersten stehendes Prisma hinzugefügt werden. Es ist übrigens ohne Weiteres klar, dass eine solche Verbindung auch durch ein einzelnes Prisma ersetzt werden kann, wenn dasselbe so geschnitten ist, dass in seinem Innern eine zweimalige Totalreflexion von äquivalenter Wirkung stattfinden muss. Beide Mittel wurden von Chevalier, Nachet, Amici u. A. in verschiedener Weise in Anwendung gebracht. Am zweckdienlichsten dürfte immerhin eine Vorrichtung sein, wie sie in neuerer Zeit von Nachet geliefert wird: ein in ein Kästchen eingeschlossenes Prisma, welches nach



Figur 40.



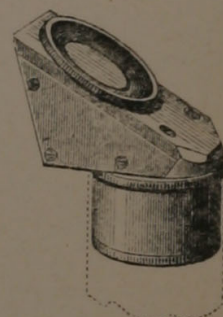
Figur 41.

Belieben aufgesetzt oder weggenommen werden kann, je nachdem man das Mikroskop zu Zergliederungen oder zu Beobachtungen gebrauchen will. Dieses bildumkehrende Prisma (Prisme redresseur) von Nachet ist in Fig. 44 abgebildet. Die untere Fläche desselben steht senkrecht zur Mikroskopaxe und bildet mit der oberen, durch welche die Strahlen heraustreten, einen Winkel

von 58^0 . Dadurch wird übrigens nichts Anderes bezweckt, als dass die optische Axe sich etwa 30^0 gegen den Horizont neigt, so dass die Haltung des Kopfes eine bequemere wird. Die Flächen $abcd$ und $bcef$, welche in der Kante cb zusammenstossen, sind die reflectirenden; sie bilden unter sich einen Winkel von $81\frac{1}{2}^0$, so dass die Reflexionsebenen der von unten einfallenden Strahlen, wie die Rechnung ergiebt, sich rechtwinklig schneiden. Die übrigen Flächen des Prismas sind ohne Einfluss auf die optische Wirkung desselben.

Wollte man auf die Bequemlichkeit verzichten, den Apparat nach Belieben wegnehmen zu können, so wäre es vortheilhafter, die untere Fläche des Prismas convex zu schleifen und dadurch die Ocularlinse zu ersetzen, — eine Einrichtung, wie sie Nachet seinen älteren bildumkehrenden Mikroskopen mit zwei Prismen gegeben hat^{*)}. Die Umkehrung des Bildes würde in diesem Fall ohne Lichtverlust erzielt.

Das verbesserte bildumkehrende Prisma (prisme redresseur perfectionné, Fig. 42), welches Nachet in seinem neuesten Katalog noch anführt, ist zur Vergrößerung des Gesichtsfeldes mit einem besonderen Ocular combinirt.



Figur 42.

Ähnlich scheint auch das neue bildumkehrende Ocular von Hartnack construirt zu sein. Nach Frey besteht dasselbe aus einem complicirten Prisma über der Ocularlinse und liefert ein sehr helles, nur etwas kleines Gesichtsfeld^{**)}.

e. Das Spectralocular.

In neuerer Zeit sind Mikrospectralapparate hergestellt worden, welche 44 nicht bloss zur Untersuchung mikroskopischer Gegenstände dienen, sondern auch für andere spectralanalytische Untersuchungen sich eben so brauchbar erwiesen haben als gewöhnliche Spectroskope. Diese Mikrospectralapparate bestehen aus Vorrichtungen, welche im Ocular des Mikroskops untergebracht sind und können daher als Spectraloculare bezeichnet werden.

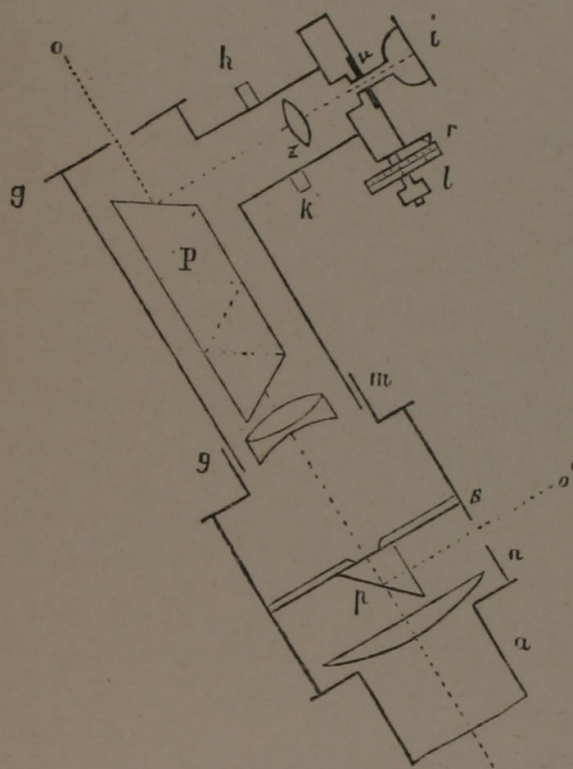
Der vorzüglichste Apparat dieser Art ist derjenige, welchen John Browning in London nach seinen und Sorby's Ideen construirt hat. Derselbe besteht aus einem gewöhnlichen Ocular, dessen Aufsatzrohr a (Fig. 43) dem Mikroskoptubus angepasst ist. Zwischen dem Collectiv n und der Ocularlinse m befindet sich ein Prisma p , das sich unmittelbar an die Blendung s anlehnt. Die Blendung selbst ist mit einer spaltenförmigen Oeffnung versehen, welche durch eine besondere Vorrichtung sowohl verkürzt als verengt werden kann. In gleicher Höhe befindet sich seitlich bei o' eine Oeffnung, durch welche das Licht der zur Vergleichung dienenden und auf

^{*)} Vgl. Harting, Mikr. 2. Aufl. III, p. 228.

^{**)} Wir finden dieses bildumdrehende Ocular im Catalog von 1874 nicht angegeben.

einem besondern Tische befestigten Objecte in das Ocular fällt, um im Prisma durch Totalreflexion nach dem beobachtenden Auge abgelenkt zu werden. Diese Vorrichtung kann beispielsweise dazu benutzt werden, um gleichzeitig mit dem Spectrum chlorophyllgrüner Algen, die auf dem Objecttische liegen, dasjenige einer weingeistigen Chlorophylllösung zu beobachten, die man in einem Probirröhrchen vor der Oeffnung bei o' befestigt hat.

Ueber der Ocularlinse m ist in einem abnehmbaren obern Theil das zerlegende Prisma angebracht, das aus 5 Einzelprismen, 2 Flint- und 3 Kronglasprismen, so zusammengesetzt ist, dass das Licht in einer mit der Axe parallelen Richtung ins Auge gelangt. Sieht man durch dieses Prisma



Figur 13.

bei gewöhnlicher Tagesbeleuchtung ins Mikroskop und verengt den Spalt der Ocularblendung, bis die Wirkung eine möglichst günstige ist, so beobachtet man ein Spectrum von ungemeiner Klarheit und Lichtstärke, an dem die Linien von B bis G in ausserordentlicher Schärfe hervortreten. Bei Sonnenlicht erstreckt sich das Spectrum von A bis zu den beiden Linien H und erscheint von zahllosen feinen Linien wie übersät.

Der glänzendste Theil des Spectraloculars aber ist der von Browning erfundene ingeniose Messapparat, welcher an dem seitlichen Rohre bei h angebracht ist. Derselbe besteht 1) aus einem Spiegel i , welcher das Licht in das Rohr wirft,

2) aus einer geschwärzten Platte v ,

auf welcher ein helles rechtwinkliges Linienkreuz gezogen ist, 3) aus der Linse x , welche so eingestellt werden kann, dass das von ihr entworfene Bild des Lichtkreuzes von der obern Fläche des zerlegenden Prismas ins Auge des Beobachters geworfen wird, 4) aus der Schraube l , mittelst welcher die geschwärzte Platte v so verschoben werden kann, dass das auf ihr befindliche Lichtkreuz im Bilde über das ganze Spectrum hinweggeführt, also auch auf einen beliebigen Punct desselben eingestellt werden kann. Da diese Schraube mit einer Mikrometertrommel in Verbindung steht, so ist es möglich zu bestimmen, welche Einstellung beispielsweise der Fraunhofer'schen Linie B , welche andere der Linie C entspricht, u. s. f. Um alsdann umgekehrt die Lage einer gegebenen Linie im Spectrum, z. B. eines Absorptionsstreifens der Chlorophylllösung zu bestimmen,

hat man bloss nöthig, das Lichtkreuz auf denselben einzustellen und die Schraubenstellung an der Mikrometertrommel abzulesen.

Von einfacherer Construction, dafür aber auch weniger leistungsfähig, ist der »Spectralapparat für Mikroskope« von S. Merz in München (beschrieben in Carl's Repertorium für Physik, Bd. V, p. 390). Derselbe ist dem vorstehend beschriebenen englischen Apparat nachgebildet, jedoch mit Weglassung der Vorrichtung zum Messen und des besondern Tisches nebst Spiegel für die Vergleichsobjecte. Die letztern müssen daher auf einem besondern Stativ vor die Oeffnung o' gebracht werden, und die Vergleichung ihrer Absorptionslinien mit denen des Untersuchungsobjectes ist das einzige Mittel, das vorliegende Spectrum zu characterisiren. Abgesehen von diesem unter Umständen empfindlichen Mangel ist das Merz'sche Spectralocular vollkommen zweckentsprechend.

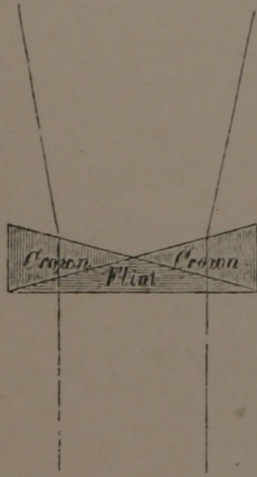
3. Die Mittel zur Theilung der Strahlenbündel.

Englische und französische Optiker verfertigen seit einiger Zeit sogenannte multoculäre Mikroskope, durch welche gleichzeitig mehrere Personen ein und dasselbe Object beobachten können. Obschon nun freilich die Bedeutung solcher Instrumente für die Wissenschaft mehr als zweifelhaft ist, so dürfen wir doch die Principien, auf denen die Construction derselben beruht, nicht ganz mit Stillschweigen übergehen.

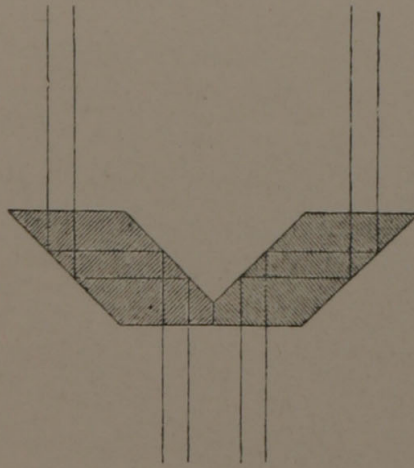
Wenn wir von den älteren Versuchen dieser Art absehen, so geschieht die Vervielfältigung des Bildes im Grunde durchgehends in derselben Weise, nämlich durch Spaltung der Strahlenbündel — meist unmittelbar nach dem Durchgang durch das Objectiv — in zwei oder mehr gleiche Theile, von denen jeder durch ein besonderes Rohr dem entsprechenden Ocular zugeleitet wird. Diese Spaltung wird nun aber bald auf dioptrischem, bald auf katoptrischem Wege bewirkt; auf dioptrischem durch ein achromatisches Prisma, wie es in Fig. 44 dargestellt ist, auf katoptrischem durch Prismencombinationen, welche die Strahlenbündel durch Totalreflexion nach verschiedenen Richtungen ablenken (Fig. 45 und 46). Die optische Wirkung dieser Prismen ist für den Fall einer Zweitheilung der Strahlenbündel ohne Weiteres aus der Construction ersichtlich; auch leuchtet ein, dass wenn in Fig. 46 die seitlichen Prismen (oder ganz allgemein die Flächen, welche die zweite Reflexion bewirken) um 90° gedreht werden, eine vollständige Wiederumkehrung des Objectivbildes stattfinden muss. Der Optiker hat es also in seiner Gewalt, dem schliesslichen virtuellen Bild eine aufrechte oder verkehrte Lage zu geben.

Soll eine Theilung der Lichtkegel in drei oder vier Bündel erzielt werden, so müssen die brechenden oder reflectirenden Flächen, welche dieselbe bewirken, nach eben so vielen Richtungen gegen die Medianlinie geneigt sein. Die einspringenden Kanten in Fig. 44 und 45 erscheinen alsdann als körperliche Winkel mit drei oder vier Begrenzungsflächen;

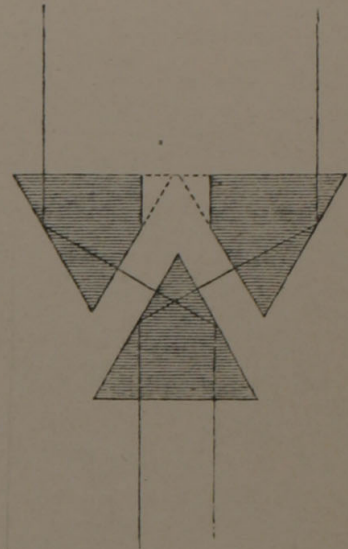
das mittlere Prisma in Fig. 16 wird zur 3—4seitigen Pyramide. Dasselbe Ziel würde man übrigens auch erreichen, wenn man die Spaltung an einem oder an beiden Theilbündeln in gleicher Weise wiederholte.



Figur 14.



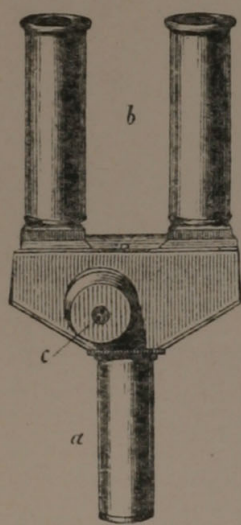
Figur 15.



Figur 16.

46 Die Vervielfältigung des Objectivbildes ist natürlich mit einer entsprechenden Schwächung der Lichtintensität verbunden; dazu kommen die Verluste, welche die Einschaltung brechender Substanzen schon an und für sich verursacht. Aus diesem Grunde sind bei multoculären Mikroskopen nur schwächere Linsensysteme anwendbar, und auch diese lassen, competenten Urtheilen zufolge, gar Manches zu wünschen übrig.

Die binoculären Mikroskope können auch so constrüirt werden, dass sie nach Art der Opernperspective zur Beobachtung mit beiden Augen dienen und dann eine stereoskopische Wirkung hervorbringen.



Figur 17.

Zu diesem Ende werden die zwei Röhren am besten so gestellt, dass sie der Convergenz der Augenaxen entsprechen, weil sonst die beiden Bilder sich nicht leicht zu einem vereinigen lassen. Man kann auch, um bei parallelen Röhren eine aequivalente Wirkung zu erzielen, über jedem Ocular ein achromatisches Prisma anbringen, welches im Maximum eine Ablenkung von c. 70° hervorruft und durch symmetrische Drehung der Ablenkungsebenen den Convergenzwinkel der optischen Axen so lange verkleinern, bis die beiden Felder sich vollkommen decken. Diese letztere Einrichtung hat z. B. das binoculäre stereoskopische Mikroskop von Nachet in Paris, die erstere dasjenige von Crouch

in London. Hartnack liefert seit einiger Zeit stereoskopische Oculare (Fig. 17), deren Röhren *b* mittelst des Knopfes *c* nach Bedürfniss gestellt werden können; *a* dient als Einsatz in die Mikroskopröhre.

Dass das stereoskopische Mikroskop gleich andern stereoskopischen Vorrichtungen den Anschein der Körperlichkeit hervorbringen muss, lässt sich voraussehen; ob aber damit für die Wissenschaft irgend etwas gewonnen, ob z. B. die Unterscheidung der Form- und Dichtigkeitsverschiedenheiten erleichtert sei, das möchten wir vor der Hand sehr bezweifeln. Auf das rein Physikalische der Erscheinung werden wir weiter unten, im Abschnitt über die mikroskopische Wahrnehmung, näher eingehen.

V.

Die chromatische und die sphärische Aberration.

1. Die chromatische Aberration.

Die verschiedenfarbigen Strahlen, aus welchen das weisse Licht zu- 47
sammengesetzt ist, werden bekanntlich beim Durchgang durch ein brechen-
des Medium ungleich gebrochen. Jeder einzelnen Farbe entspricht daher
in einem gegebenen System von Linsen eine andere Lage der Cardinal-
punkte und folglich auch des schliesslichen Bildes. Die Störungen, die aus
diesem Umstande hervorgehen, bezeichnet man als chromatische Aber-
ration. Ihre Beseitigung wird, wie wir hier als bekannt voraussetzen,
durch die Eigenschaft der brechenden Substanzen möglich, bei geringer
Verschiedenheit im Brechungsvermögen doch in sehr ungleichem Grade
zerstreuend auf die verschiedenen Farben zu wirken. Bei Kronglas mit dem
mittleren Brechungscoefficienten 1,5342 und bei Flintglas mit dem mittleren
Brechungscoefficienten 1,6490 erhält man z. B. als Brechungsindex für die
extremen Strahlen:

	Kronglas	Flintglas
Aeusserstes Roth	1,5258	1,6277
Violett	1,5466	1,6711.

Als Differenz zwischen diesen extremen Brechungswerthen ergibt sich beim
Kronglas 0,0208 und beim Flintglas 0,0434. Die beiden hier erwähnten
Glassorten weichen also mit Rücksicht auf ihr Zerstreuungsvermögen um
mehr als das Doppelte von einander ab.

Wenn man nun erwägt, dass Concav- und Convexlinsen entgegenge-
setzt wirken, so leuchtet ein, dass die Farbendispersion, welche eine Sam-
mellinse von Kronglas hervorruft, durch Hinzufügen einer concaven Flint-
glaslinse vollständig beseitigt werden kann, ohne dadurch die Ablenkung
der Lichtstrahlen gleichzeitig aufzuheben. Denn wäre die ablenkende Kraft
in beiden Linsen gleich, aber entgegengesetzt, die Brennweiten also gleich,
so würde die Flintglaslinse vermöge ihres doppelt so starken Zerstreuungs-
vermögens die Farbendispersion der Kronglaslinse nicht nur vernichten;

sondern noch eine entgegengesetzte von ungefähr gleicher Stärke hervorrufen. Es lässt sich also ein bestimmtes Verhältniss der Brennweiten denken, wobei das Linsenpaar für die extremen Strahlen achromatisch ist und doch die Eigenschaften einer Sammellinse besitzt.

Bezeichnet man die Brennweiten der Flintglaslinse für rothe und violette Strahlen mit F'_r und F'_v und die entsprechenden Brennweiten der Kronglaslinse mit F''_r und F''_v , so ist die Bedingung des Achromatismus:

$$\frac{1}{F'_r} + \frac{1}{F''_r} = \frac{1}{F'_v} + \frac{1}{F''_v}.$$

Ist nun die Flintglaslinse planconcav und die Kronglaslinse biconvex und überdiess der Krümmungsradius der drei sphärischen Flächen derselbe, nämlich $= R$, wie wir diess für unser Objectiv vorausgesetzt haben, so wird obige Gleichung, wenn man für die Brennweiten ihre Werthe substituirt,

$$-(n'_r - 1) \frac{1}{R} + (n''_r - 1) \frac{2}{R} = -(n'_v - 1) \frac{1}{R} + (n''_v - 1) \frac{2}{R},$$

wobei n'_r n'_v n''_r n''_v die den gleich bezeichneten Brennweiten entsprechenden Brechungscoefficienten sind. Durch Multiplication sämtlicher Glieder mit R ergibt sich:

$$2(n''_v - n''_r) = n'_v - n'_r,$$

d. h. das Zerstreungsvermögen des Flintglases muss doppelt so gross sein, als das des Kronglases, wenn eine nach obiger Annahme construirte Doppellinse achromatisch sein soll. Sobald

$$2(n''_v - n''_r) > n'_v - n'_r,$$

wird der Einfluss der Kronglaslinse, im umgekehrten Fall derjenige der Flintglaslinse vorwiegend.

- 48 Eine vollständige Vereinigung der Strahlen von verschiedener Brechbarkeit lässt sich übrigens bei einer Doppellinse nur für zwei bestimmte Farben des Spectrums, wie z. B. für Roth und Violett, erzielen. Da nämlich das Verhältniss der Dispersion im Kron- und Flintglas für verschiedene Farbenpaare ein anderes ist, so können, auch wenn das rothe und violette Bild sich vollkommen decken, die von den zwischenliegenden Strahlen erzeugten Bilder nicht mit jenen zusammenfallen. Die verschiedenfarbigen Bilder erscheinen daher nie genau gleich gross; die einen ragen mehr oder weniger über die andern hervor und bedingen dadurch den farbigen Saum, den man im weissen Lichte stets beobachtet. Dazu kommt, dass auch eine bloss approximative, jedoch für die Praxis genügende Beseitigung dieses Farbensaumes nur für Strahlenkegel von bestimmter Neigung erreichbar ist. Sobald diese Neigung sich ändert, wie es z. B. bei schiefer Beleuchtung der Fall ist, treten die chromatischen Abweichungen sofort störend hervor. Im vollsten Sinne des Wortes ist also eine Doppellinse nie achromatisch, und selbst angenommen, sie gebe bei gerader Beleuchtung ein absolut

farbenfreies Bild, so müsste sie doch für schief einfallendes Licht mehr oder minder übercorrigirt sein.

Ganz dasselbe gilt natürlich auch für Linsensysteme; es kann sich immer nur darum handeln, durch geschickte Combination der Flint- und Kronglaslinsen dem Achromatismus möglichst nahe zu kommen. Dabei kommt ausser dem richtigen Verhältniss der Brennweiten namentlich auch die Wahl der Glassorten in Betracht, indem vorzugsweise solche geeignet sind, bei welchen die Partialdispersionen, d. h. die Zerstreuungsverhältnisse der gleichnamigen Farbenpaare (Fraunhofer'schen Linien) im Flint- und Kronglas möglichst wenig von einander abweichen.

Es versteht sich übrigens von selbst, dass bei Mikroskopen, deren Ocular aus einfachen Linsen besteht und folglich nicht achromatisch ist, die Flintglaslinsen des Objectivs einer entsprechend grössern zerstreuen Kraft bedürfen, da sie nicht bloss den damit verbundenen Kronglaslinsen, sondern auch dem Ocular das Gleichgewicht halten sollen. Das Objectiv muss also, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, überverbessert sein. In den meisten Fällen ist übrigens der Einfluss des Oculars fast verschwindend gering. Dabei ist wohl zu beachten, dass wenn die von einem Objectpunct einfallenden Lichtkegel so gebrochen werden, dass die verschiedenfarbigen Objectivbilder sich seitlich gegen einander verschieben, eine Compensation zwischen Objectiv und Ocular unmöglich wird. Diese seitliche Verschiebung findet aber immer statt, sobald die einfallenden Lichtkegel, etwa in Folge schiefer Spiegelstellung, nach der nämlichen Seite gegen die Axe geneigt sind. Wir werden diesen Punct weiterhin (s. die Prüfung des Mikroskops) im Zusammenhang mit andern, welche das Verständniss desselben erleichtern, eingehend erörtern. Hier sei nur noch bemerkt, dass der blaue Rand des Gesichtsfeldes oder eines grössern Objectes noch keineswegs den Beweis dafür liefert, dass das Objectiv wirklich überverbessert sei, und noch weniger, dass es im Verhältniss zu den unterverbesserten Ocularlinsen ein chromatisches Uebergewicht besitze.

2. Die sphärische Aberration.

Die sphärische Aberration oder die Abweichung wegen der Kugel- 49
gestalt beruht bekanntlich darauf, dass die Brennweite der Randstrahlen stets kleiner ist, als die der Centralstrahlen und zwar um so mehr, je grösser der Abstand von der Axe. Wenn man die Linsenoberfläche in concentrische Zonen theilt, so entspricht also jeder Zone eine andere Brennweite und folglich auch eine andere Lage des Bildes. Die Verbindung von Flint- und Kronglas dient nun auch dazu, die hieraus erwachsenden Störungen zu beseitigen. Es lässt sich nämlich bei einer achromatischen Doppellinse ein solches Verhältniss der Brechungen herstellen, dass die Randstrahlen, welche von der concaven Flintglaslinse um eine gewisse Grösse stärker von der Axe abgelenkt werden, als die Centralstrahlen, durch

die Kronglaslinse um die nämliche Grösse stärker in entgegengesetzter Richtung gebrochen werden, so dass ihr Vereinigungspunct mit dem der Centralstrahlen zusammenfällt. Eine Doppellinse, bei welcher diese Vereinigung erzielt ist, heisst *aplanatisch* *).

Jedes achromatische Linsenpaar kann auch aplanatisch gemacht werden. Denn da der Achromatismus, wie aus der oben mitgetheilten Bedingungsgleichung hervorgeht, von den Brennweiten und Zerstreuungsverhältnissen, der Aplanatismus dagegen von den Krümmungen abhängt, so können die bezüglichen Bedingungen nicht in Widerspruch gerathen. Selbst wenn die Vorderfläche der Flintglaslinse gegeben ist, lassen sich die Krümmungsradien der übrigen Flächen so bestimmen, dass jede Aberration verschwindet. Ist z. B. eine Doppellinse mit ebener Vorderfläche und gleichen Krümmungen, wie wir sie für unser Objectiv vorausgesetzt haben, achromatisch, aber nicht aplanatisch, vielmehr der Einfluss des Flintglases auf die Randstrahlen zu schwach, so braucht man bloss die Berührungsfläche der beiden Linsen etwas stärker zu wölben und dafür die hintere Fläche der Kronglaslinse ebenfalls entsprechend zu ändern, so dass das Verhältniss der Brennweiten unverändert bleibt. Im entgegengesetzten Fall müsste dagegen der Krümmungsradius der Berührungsfläche vergrössert und hierauf die Hinterfläche der Kronglaslinse aus der Bedingungsgleichung für den Achromatismus bestimmt werden. Für den praktischen Optiker ist es natürlich am vortheilhaftesten, wenn die Glassorten so beschaffen sind, dass sie eine nahezu gleichseitige Krümmung der Kronglaslinse erlauben, indem durch solche Verbindungen mit den stärksten herstellbaren Krümmungen die kleinsten Brennweiten erzielt werden.

50 Im vollsten Sinne des Wortes ist indessen der Aplanatismus ebenso wenig als der Achromatismus erreichbar. Die Flintglaslinsen üben nämlich auf die Randstrahlen einen um so grössern Einfluss aus, je weiter von der Axe entfernt sie einfallen. Wenn daher auch der Vereinigungspunct der äussersten Randstrahlen mit dem der Centralstrahlen zusammenfällt, so zeigen die näher der Axe durchgehenden Strahlen doch immer noch Spuren der Aberration.

Ueberdiess zeigt sowohl die Rechnung, als die Erfahrung, dass eine Doppellinse, welche für parallel auffallende Strahlen hinreichend aplanatisch ist, diese Eigenschaft nicht mehr besitzt, sobald die Strahlen unter sich convergiren oder divergiren; dass überhaupt der Aplanatismus nur für bestimmte Entfernungen der (reellen oder virtuellen) Objectpuncte zu erzielen ist. Ist z. B. die Doppellinse *A B* (Fig. 48) für den etwas ausserhalb der Brennweite liegenden Punct *a* aplanatisch, so wird, wenn ein Object von

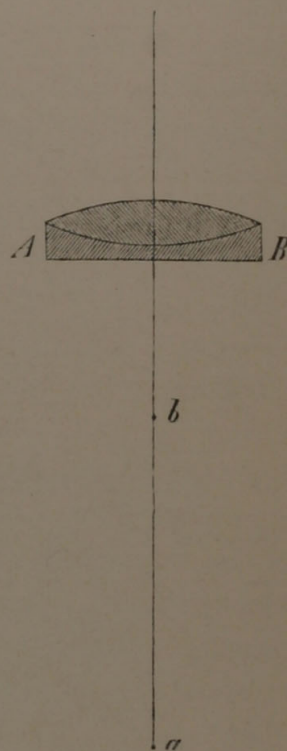
*) Manche Autoren geben diesem Ausdruck eine etwas weitere Bedeutung. Sie nennen ein Linsensystem nur dann *aplanatisch*, wenn nicht nur die sphärische, sondern auch die chromatische Aberration möglichst beseitigt ist. Wir folgen in diesem Puncte *Radicke* (Handbuch der Optik) und anderen mathematischen Schriftstellern.

hier aus der Linse näher rückt, sogleich eine Ueerverbesserung bemerkbar, welche allmählich zu- und dann wieder abnimmt, bis sie endlich im Punkte *b* wieder annähernd verschwindet. Bei noch grösserer Annäherung, desgleichen beim Fernerrücken über *a* hinaus, tritt die entgegengesetzte Aberration, also Unterverbesserung ein.

Man hat die beiden Punkte *a* und *b*, von welchen aus die Lichtstrahlen ohne störende Aberration durchgehen, die aplanatischen Brennpuncte der Doppellinse genannt, wobei indess zu bemerken, dass diese Benennung eine nicht ganz zutreffende ist, da der fragliche Aplanatismus sich stets nur auf eine begrenzte, wenn auch für die Bilderzeugung wichtige Zone erstreckt. Diess ist namentlich bei Linsen mit starker Krümmung der Fall. Die Bedeutung dieser »Brennpuncte« ist darum in neuerer Zeit vielfach überschätzt worden, indem man die vorhandenen Aberrationsreste als Wirkungen einer durchgreifenden (d. h. der Linse in ihrer ganzen Ausdehnung anhaftenden) Unter- oder Ueerverbesserung betrachtete und diese Auffassung ohne alle Einschränkung auch auf die stärkern Objective mit grossen Oeffnungswinkeln übertrug, während doch die Rechnung zeigt, dass hier das Verhältniss der vorkommenden Abweichungen ein viel complicirteres ist.

»Die sphärische Abweichung zerfällt überhaupt bei einer strengern Untersuchung ihrer Bedingungen in eine Reihe von selbständigen Gliedern, die in ihrem Anwachsen mit der zunehmenden Neigung der Strahlen gegen die Axe einen sehr ungleichen Gang befolgen. Eine wirkliche Aufhebung ist nur für die beiden ersten Glieder theoretisch möglich. Sobald der Oeffnungswinkel über einen ganz geringen Betrag hinausgeht, kann die Ausgleichung der sphärischen Aberration nicht anders erfolgen als dadurch, dass die nicht aufhebbaren höhern Glieder durch absichtlich herbeigeführte Reste der niedern compensirt werden. Das Anwachsen des unvermeidlichen Deficits, das diese Compensation wegen des ungleichen Ganges der einzelnen Theile nothwendig übrig lässt, bestimmt die Grenze, welche dem Oeffnungswinkel gesetzt werden muss, wenn jenes Deficit im mikroskopischen Bilde ohne schädliche Wirkung bleiben soll.«^{*)}

Bei der Herstellung von Objectiven mit grössern Oeffnungswinkeln (z. B. 60° — 80°) ist daher der praktische Optiker vorzugsweise auf seine eigenen Erfahrungen angewiesen; er muss durch wiederholtes Versuchen sowohl die geeignetsten Glassorten, als das richtige Verhältniss der Krüm-



Figur 48.

^{*)} Nach Abbe, Archiv f. mikrosk. Anat. Bd. 9, pag. 423.

mungsradien und der Linsenabstände herauszufinden und auf diesem rein empirischen Wege die beiden Aberrationen möglichst zu beseitigen suchen. Nur versteht sich von selbst, dass eine vorgängige theoretische Prüfung verschiedener Combinationen immerhin geeignet ist, manche beachtenswerthe Winke zu geben. Für die neuern starken Objective mit Oeffnungswinkeln von 100° und darüber ist es z. B. unerlässliche Bedingung, dass eine einfache, nahezu halbkugelige Frontlinse mit einer stark übercorrigirten Linsengruppe combinirt wird. Die Erfindung dieses Constructionstypus muss als die eigentliche Grundlage aller neuern Fortschritte in der Vervollkommnung der Objective bezeichnet werden.

51 Wie übrigens auch der Strahlengang für die peripherischen Theile des Objectivs sich gestalten mag, immer lässt sich derselbe durch blosse Veränderung einer Linsendistanz, wie sie z. B. bei der Deckglas correction stattfindet, insoweit verbessern, dass wenigstens die äusserste Randzone und der centrale Theil des Objectivs richtig zusammenwirken. Allein die zwischenliegende mittlere Zone bleibt alsdann bei mangelhaften Constructionen stets übercorrigirt, und alles weitere Zusammen- oder Auseinanderücken der Linsen kann nur dazu dienen, den vorhandenen Aberrationsrest zwischen Mitte und Rand gleichsam hin und her zu schieben, so dass bald diese, bald jene Zone vorübergehend, aber natürlich stets nur auf Kosten der andern, mehr oder weniger aberrationsfrei wird. Mehr ist in solchen Fällen auch durch besondere »Correctionsgläser« und andere Hilfsmittel dieser Art nicht zu erreichen; die Correctionsdifferenz bleibt, weil sie in den Brechungsverhältnissen der untersten Objectivlinsen begründet und darum durch schwach brechende Hilfsvorrichtungen oberhalb derselben nicht zu beseitigen ist. Durch solche Vorrichtungen kann die wirkliche Leistungsfähigkeit des Mikroskops niemals erhöht werden. Der Nutzen, den sie gewähren, lässt sich bei richtiger Construction eben so gut im Objectiv selbst erzielen, und die Mängel, welche hier nicht zu bewältigen sind, bleiben auch bei Anwendung von Correctionsvorrichtungen fortbestehen.

52 Die Art und Weise, wie der practische Optiker alle die Factoren, welche den Strahlengang beeinflussen, zu combiniren hat, um einen möglichst günstigen Gesamteffect zu erzielen, lässt sich indessen bei aller Einsicht in die allgemeinen Gesetze des Strahlenganges nicht ein für allemal feststellen. Es bleibt in der Regel dem Tatonnement überlassen, durch Aenderung der Linsendistanzen und durch glückliche Auswahl der Einzelinsen dem vollständigen Aplanatismus möglichst nahe zu kommen. Die Optiker der ältern Schule haben dieses Ziel zum Theil dadurch zu erreichen gesucht, dass sie jedes Linsenpaar aplanatisch construirten; die neuern dagegen richten ihr Augenmerk stets nur auf den Gesamteffect und corrigiren die Abweichungen der vordern Linsen durch die entgegengesetzten der folgenden. Diese letztere Methode führt unzweifelhaft, zumal bei starken Objectiven, zu einem höhern Grad der Vervollkommnung; die ersten

gewährt dagegen gewisse practische Vortheile, welche namentlich bei schwachen Vergrößerungen nicht ganz bedeutungslos sind. Sobald nämlich im Objectiv jedes Linsenpaar für sich aplanatisch ist, kann das letzte Paar auch allein oder in Verbindung mit dem vorletzten gebraucht werden, da der Objectpunct alsdann genau an die Stelle des von der vorhergehenden Linse entworfenen virtuellen Bildes tritt, folglich der Aplanatismus keine Störung erleidet. Dagegen können die vorderen Paare nach Wegnahme des letzten, wie leicht einzusehen, nur ein undeutliches Bild gewähren.

Aus dem Angeführten erklärt sich denn auch die weitere Thatsache, dass gleich bezeichnete Objective aus der nämlichen Werkstatt immer nur annähernd übereinstimmen. Bei der absoluten Unmöglichkeit, dieselben Krümmungen wieder herzustellen, ist nämlich der Optiker bei jeder Linsencombination immer wieder aufs Probiren angewiesen, und hat er endlich die Aberrationen möglichst beseitigt, so ist es ein reiner Zufall, wenn das hergestellte Objectiv mit einem früheren genau dieselbe vergrößernde Kraft besitzt. Erfahrene Optiker verstehen es jedoch, diese unvermeidlichen Abweichungen in ziemlich engen Grenzen zu halten.

Es bleibt uns jetzt noch übrig, die oben zur Bestimmung der Cardinal- 53 puncte angenommene Linsencombination mit Rücksicht auf die beiden Aberrationen zu prüfen. Diese Prüfung kann natürlich nur eine rein theoretische sein; sie hat auch weniger den Zweck, die verschiedenen Voraussetzungen, auf welche die erwähnte Bestimmung sich stützt, gegen einander abzuwägen, als vielmehr für jede ähnliche Linsencombination ein Beispiel einer annähernden Berechnung zu geben.

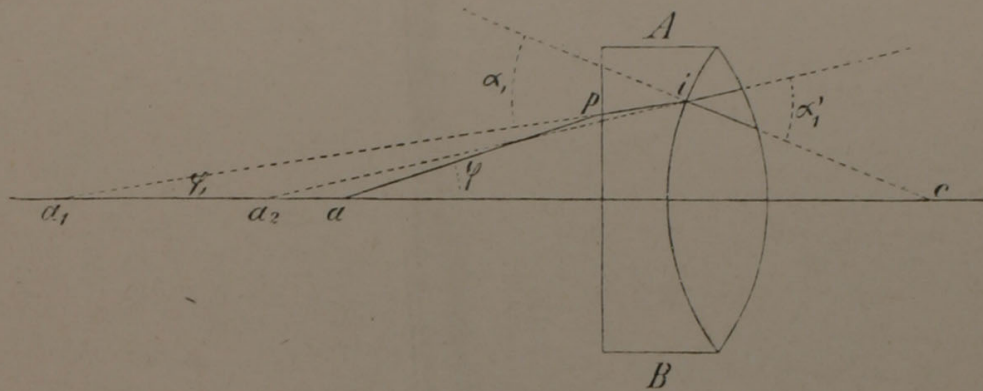
Zur Beurtheilung der chromatischen Aberration fehlen indess die Anhaltspuncte, da die Zerstreuungsverhältnisse der Flint- und Kronglaslinsen für die angenommenen Brechungscoefficienten nicht bekannt sind. Wir beschränken uns daher auf die sphärische Aberration und führen auch hier noch die weitere Vereinfachung ein, dass die zu verfolgenden Randstrahlen von einem Puncte der optischen Axe ausgehen.

Es sei AB (Fig. 49) die erste Objectivlinse, a ein in der Axe gelegener Punct des Objectes, dessen Entfernung von der Linse $= \delta$, ap ein Randstrahl, welcher mit der Axe und daher auch mit dem Einfallslot der ersten brechenden Fläche den Winkel φ bildet, a_1p die Richtung desselben nach der ersten Brechung: dann ist der Winkel φ_1 , welchen der gebrochene Strahl mit der Axe bildet, durch das Brechungsverhältniss des Flintglases bestimmt. Folglich kann auch der Abstand des Punctes a_1 von der brechenden Fläche oder die dem Objectabstand δ entsprechende Vereinigungsweite, die wir mit f_1 bezeichnen wollen, als gegeben betrachtet werden. Man hat nämlich:

$$f_1 = \delta \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_1}.$$

Der gebrochene Strahl ist nun mit Rücksicht auf die zweite brechende

Fläche, die Berührungsfläche der beiden Linsen, als einfallender zu betrachten; der Winkel α_1 , den er mit der vom Krümmungsmittelpunct durch



Figur 19.

den Einfallspunct gezogenen Geraden bildet, ist der Einfallswinkel. Seine Grösse ist durch die trigonometrische Beziehung gegeben:

$$a_1 c : ci = \sin \alpha_1 : \sin \varphi_1 ,$$

oder, wenn man den Krümmungsradius mit r und die Dicke der Flintglasslinse mit d bezeichnet,

$$(f_1 + d + r) : r = \sin \alpha_1 : \sin \varphi_1 ;$$

folglich

$$\sin \alpha_1 = \frac{f_1 + d + r}{r} \sin \varphi_1 .$$

Der zugehörige Brechungswinkel, welcher α_1' heissen mag, ergibt sich aus den bekannten Brechungsverhältnissen des Flint- und Kronglases. Somit ist auch die Richtung des Strahls nach der zweiten Brechung und damit der Winkel φ_2 , den er mit der Axe bildet, als bekannt zu betrachten. Im Dreieck $a_1 i a_2$ ist nämlich die Summe der Winkel α_1 und i gleich dem Aussenwinkel φ_2 , oder da $\angle i = \alpha_1' - \alpha_1$,

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \alpha_1' - \alpha_1 .$$

Hieraus ergibt sich für den Abstand f_2 des Punctes a_2 von der zweiten brechenden Fläche:

$$f_2 = a_2 c - r , \quad \text{oder da } a_2 c : ci = \sin \alpha_1' : \sin \varphi_2$$

$$f_2 = r \frac{\sin \alpha_1'}{\sin \varphi_2} - r .$$

In gleicher Weise kann für die letzte brechende Fläche der Doppellinse der Einfallswinkel α_2 und hieraus der Brechungswinkel α_2' und der Winkel des gebrochenen Strahls mit der Axe (φ_3) berechnet werden. Das Dreieck $a_2 c' n$ (Fig. 20) ergibt:

$$\sin \alpha_2 = \frac{a_2 c'}{c' n} \sin \varphi_2 = \frac{f_2 + d - r}{r} \sin \varphi_2$$

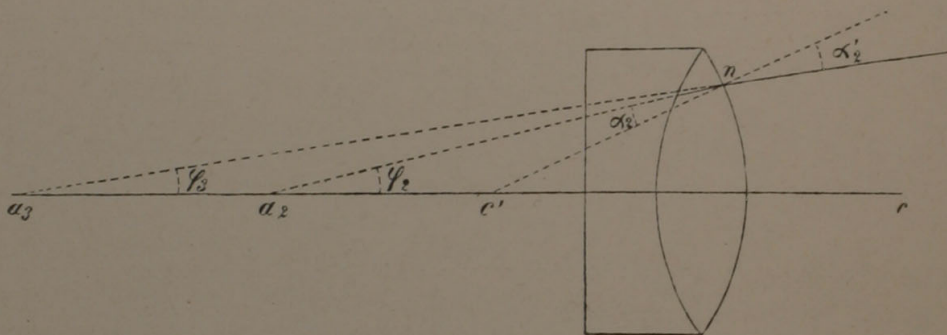
und ebenso ist im Dreieck $a_3 a_2 n$ die Summe der beiden spitzen Winkel $= \varphi_2$, folglich

$$\varphi_3 = \varphi_2 - (\alpha_2' - \alpha_2) .$$

Endlich erhält man aus dem Dreieck $a_3 c' n$ die Länge $a_3 c'$ und hieraus durch Addition von r die Entfernung des Punctes a_3 von der letzten brechenden Fläche, also f_3 . Es ist

$$f_3 = r \cdot \frac{\sin \alpha_2'}{\sin \varphi_3} + r .$$

Damit ist der Gang des Randstrahls durch die erste Doppellinse bestimmt. Die aufgestellten Formeln gelten natürlich auch für die folgenden



Figur 20.

Doppellinsen, für welche die Rechnung genau in derselben Weise zu wiederholen ist. Der Punct a_3 ist für die Vorderfläche der zweiten Linse als Objectpunct zu betrachten; sein Abstand ist gleich $f_3 + e_1$, wenn die letztere Grösse die Entfernung der beiden Linsen bedeutet. Der Winkel φ_3 ist für die ebene Vorderfläche zugleich Einfallswinkel.

Bei der letzten Brechung erhält der Winkel φ einen negativen Werth, d. h. der Lichtstrahl wendet sich wieder der Axe zu und zeigt also die entgegengesetzte Neigung zu derselben. Demzufolge geht auch im Ausdruck für das entsprechende f_3 , wie sich aus der Construction von selbst ergibt, das Zeichen $+$ in $-$ über, und man hat

$$f_3 = r \cdot \frac{\sin \alpha_2'}{\sin \varphi_3} - r .$$

Nur wo der Einfluss der Flintglaslinsen ein überwiegender ist, kann der Fall eintreten, dass die Randstrahlen nach ihrem Durchgange durch das Objectiv sich immer weiter von der Axe entfernen. Es müsste alsdann entweder der Krümmungsradius der Flintglaslinsen grösser oder deren Brechungscoefficient kleiner gewählt werden.

Nehmen wir jetzt an, die äussersten Randstrahlen bilden mit der Axe 51 einen Winkel von 30° (was bei einem Oeffnungswinkel von 60° der Fall ist), und bezeichnen wir die Vereinigungsweite derselben — von der Hinterfläche der Linse an gerechnet — mit f_3 und die entsprechende Grösse für Centralstrahlen mit (f_3) , so ergibt die Rechnung für die erste Doppellinse unseres Objectivs folgende Beziehungen :

Erste Objectivlinse.

Objectdistanz.	Vereinigungsweiten.		Differenz.
δ	f_3	(f_3)	
0,4	4,00417	3,7328	0,27137
0,4724	4,63716	4,59603	0,04114
0,50026	4,9034	4,87683	0,02655
0,5075	4,96317	4,9304	0,01477
0,51634	5,0473	5,0431	0,00440

Aus dieser Zusammenstellung geht nun zunächst hervor, dass die erste Doppellinse für eine Objectdistanz von $0,51634^{\text{mm}}$ annähernd aplanatisch, für kleinere Distanzen dagegen merklich unterverbessert ist, da die rückwärts verlängerten Randstrahlen die Axe in grösserer Entfernung schneiden, als die Centralstrahlen. Dabei ist jedoch vorausgesetzt, dass die vom Objectpunct ausgehenden Strahlen die Vorderfläche der Linse ohne Ablenkung erreichen, was bei der gewöhnlichen Beobachtungsweise bekanntlich nicht der Fall ist. Der Lichtstrahl gelangt durch die Flüssigkeit, in welcher das Object sich befindet, zum Deckgläschen und geht von diesem in Luft über, so dass er also erst nach zweimaliger Brechung das Objectiv trifft. Die Divergenz der Randstrahlen wird dadurch verstärkt; sie scheinen schliesslich von einem Punkte auszugehen, welcher über dem wirklichen Objectpunct liegt und um so weiter von demselben absteht, je dicker das Deckgläschen und je grösser der Winkel, den die Strahlen mit der Axe bilden. Wir werden diese Erscheinung weiterhin noch genauer verfolgen; hier genügt die Bemerkung, dass in Folge davon die Objectdistanz für Randstrahlen etwas kleiner zu setzen ist, wenn die Rechnung für die gewöhnlich vorkommenden Fälle Geltung haben soll.

Wählen wir als Objectdistanz $0,5^{\text{mm}}$, wie sie oben (Nr. 29) für eine bestimmte Linsencombination berechnet wurde, so würde eine Verkleinerung derselben von c. $0,005^{\text{mm}}$ für die Randstrahlen gerade hinreichen, um eine vollständige Gleichheit der Vereinigungsweiten f_3 und (f_3) herzustellen. Nun ist freilich diese kleine Reduction der Objectsweite dem Einfluss gewöhnlicher Deckgläschen nicht äquivalent; allein da keine andere Combination dem Aplanatismus des Objectivs so nahe kommt, so mag es für unsern Zweck genügen, die hier gewählte auch den weiteren Berechnungen zu Grunde zu legen und demnach für die zweite und dritte Doppellinse diejenigen Abstände und Brechungscoefficienten (s. die Tabelle zu Nr. 29) vorauszusetzen, welche der Objectdistanz $0,5$ entsprechen. Die Vereinigungsweiten der Rand- und Centralstrahlen werden alsdann durch folgende Ziffern ausgedrückt.

Zweite Doppellinse.			Dritte Doppellinse.		
δ	f_3	f_3	δ	f_3	f_3
5,03069	23,802	23,403	24,302	177,203	177,20

Wie man sieht, ist die sphärische Aberration hier sozusagen vollständig beseitigt. Doch gilt diess natürlich bloss für Randstrahlen von 30° , und es ist damit noch keineswegs bewiesen, dass diese Linsencombination auch für die übrigen Randstrahlen und also für den ganzen wirksamen Strahlenkegel eine möglichst aplanatische sei. Es wäre im Gegentheil leicht möglich, dass der grössere innere Theil des Strahlenkegels bei etwas veränderten Linsenabständen ein günstigeres Bild lieferte. Die Durchführung der Rechnung für alle innern Strahlen von 5 zu 5° , oder von 10 zu 10° würde hierüber Aufschluss geben.

So umständlich alle diese Rechnungen auch sind, wenn sie für verschiedene Fälle immer wieder von vorn angefangen werden sollen, bis sich endlich ein Minimum der Abweichung ergibt, so würde sich doch die Mühe reichlich lohnen, wenn damit ein für allemal die Aufgabe gelöst wäre, Objective von grösstmöglicher Vollkommenheit in einer beliebigen Zahl von Exemplaren herzustellen. Allein es gehört zu den schwierigsten Aufgaben der Technik, den Anforderungen der Mathematik beim Schleifen der Linsen auch nur annähernd Genüge zu leisten. In den meisten Werkstätten*) scheinen die unvermeidlichen Abweichungen so gross auszufallen, dass die Rechnung einen praktischen Werth eigentlich nur zum Behuf einer allgemeineren Orientirung beibehält, und alles Weitere der Geschicklichkeit und Erfahrung des Optikers anheimzustellen ist.

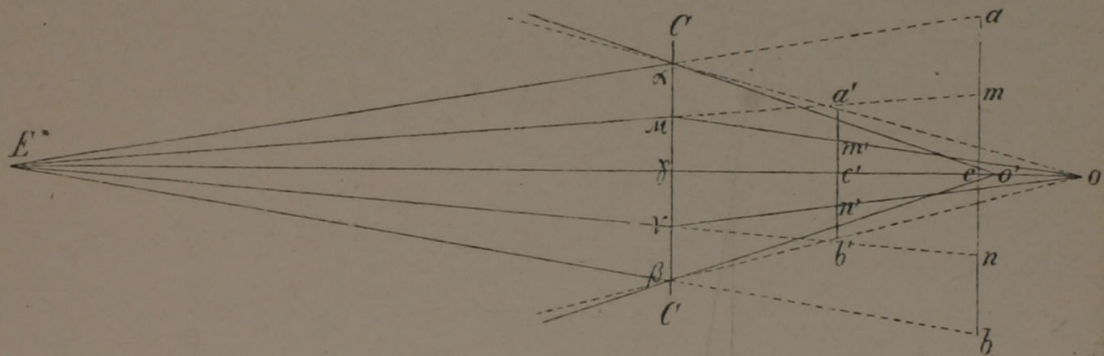
Wie schon oben angedeutet, muss der praktische Optiker schon bei der Herstellung der Doppellinsen diejenigen Paare aus seinem Linsenvorrathe heraussuchen, deren Gesamtwirkung seinen Musterlinsen möglichst nahe kommt, wobei er bald einen schwachen Grad von Unter- oder Ueverbesserung, bald vollständigen Aplanatismus im Auge haben kann. In gleicher Weise lässt sich auch für die Verbindung der Doppellinsen zum Objectiv nur durch wiederholtes Probiren der erforderliche Grad der Verbesserung erzielen. Dabei werden gewöhnlich die zweite und dritte Linse, mit denen der Anfang gemacht wird, entweder unbeweglich verbunden, oder sie bilden wenigstens ein unzerlegbares System, das nur in seiner Gesamtwirkung ein befriedigendes Bild erzeugt. Dasselbe gilt bei manchen neueren Objectiven für alle drei Linsen, so dass jeder Vergrösserung,

*) Von der Firma C. Zeiss in Jena sagt Abbe (Archiv f. mikrosk. Anat. IX, p. 414), dass sie seit einiger Zeit Mikroskopsysteme, »die einigermaassen auf der Höhe der dermaligen Leistungen stehen dürften, vom schwächsten bis zum stärksten, durchaus nach theoretischen Vorschriften« ausführe.

deren das Mikroskop bei gleichem Tubus und Ocular fähig ist, ein anderes Objectivsystem entspricht *). Die erste Linse ist bei den stärksten Objectiven häufig so gefasst, dass sie der folgenden mehr oder weniger genähert werden kann, je nachdem es der Einfluss der Deckgläschen oder überhaupt die bereits stattgefundene Ablenkung der einfallenden Strahlen erheischt.

Die Verbesserung der Aberrationen geschieht also in der Praxis, wie in der Theorie, auf dem Wege der Annäherung. Jene beginnt die Prüfung mit den letzten Brechungen im System und schreitet rückwärts zu der ersten; diese verfolgt den Lichtstrahl von der Vorderfläche des Objectivs bis zu dessen Endfläche.

- 56 Besondere Erwähnung verdienen die Folgen der sphärischen Aberration im Ocular. Da nämlich die Lichtkegel, welche nach den Punkten des Objectivbildes zielen, sehr verschmälert sind und nur einen äusserst kleinen Theil der Collectivlinse treffen, so sind es nicht, wie beim Objectiv, einzelne Strahlen, welche die stärkere Brechung des Linsenrandes erfahren, sondern die ganzen bilderzeugenden Strahlenbündel, welche diesen Rand durchsetzen. Die Kugelabweichung kann sich also nicht durch Verwischung der einzelnen Bildpunkte kundgeben, weil die Aberrationen innerhalb eines Strahlenbündels so gut wie Null sind; sie wirkt dagegen auf die Richtung der Bündelaxen nach der Brechung und in Folge dessen auf die gegenseitige Lage der Bildpunkte. Zur Versinnlichung dieser Wirkung sei in Fig. 24 E^* der zweite Hauptpunkt des Objectivs, in welchem



Figur 24.

die Axen der bilderzeugenden Lichtkegel sich schneiden, CC das unendlich dünn gedachte Collectiv, ab das (nicht zu Stande kommende) Objectiv-

*) Nach diesem Princip sind z. B. die stärkern Objectivsysteme von Hartnack, Bénéche, Kellner, Plössl etc. construiert. Die beiden hintern Linsen geben für sich allein ein sehr undeutliches Bild, das sowohl sphärisch als chromatisch stark übercorrigirt ist. Der blaue Lichtnebel, welcher die Contouren umzieht, ist sogar meistens so augenfällig und ausgebreitet, dass man a priori daran zweifeln möchte, ob eine so bedeutende Abweichung durch Hinzufügen der vordersten Linse in befriedigender Weise compensirt werden könne. Dessenungeachtet lässt sich nicht in Abrede stellen, dass die praktische Optik mit solchen Linsencombinationen bis jetzt die günstigsten Erfolge erzielt hat.

bild und $a'b'$ das reelle Bild des Collectivs. Wäre nun die Collectivlinse aplanatisch, so müssten die nach a und b zielenden Lichtkegel (in der Figur sind sie durch einfache Linien dargestellt) die optische Axe in demselben Punkte schneiden, in welchem auch die mehr centralen Lichtkegel, wie z. B. E^*m und E^*n , sich kreuzen. Beliebige Punkte m, n, \dots in der Ebene ab müssten alsdann eine entsprechende Lage im reellen Bilde $a'b'$ erhalten, denn es bestehen die Proportionen

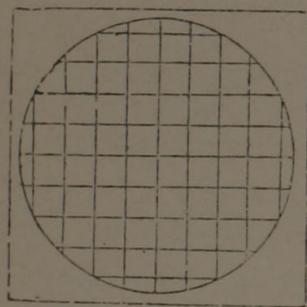
$$am : mc = \alpha\mu : \mu\gamma = a'm' : m'c'$$

und ebenso

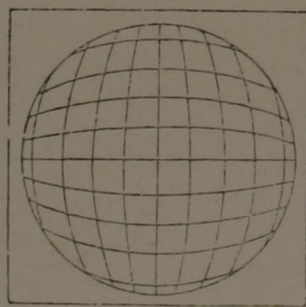
$$bn : nc = \beta\nu : \nu\gamma = b'n' : n'b'.$$

Das Objectivbild würde also eine durchweg gleichmässige Verkleinerung erfahren.

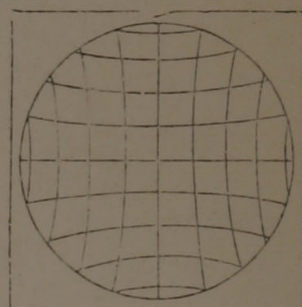
Durch die stärkere Brechung der peripherischen Bündel wird nun aber diese Gleichmässigkeit gestört. Während die nach m und n zielenden Bündel nach o gebrochen werden, kreuzen sich die nach a und b gehenden schon in o' . Die Punkte a' und m' auf der einen, b' und n' auf der andern Seite werden in Folge dessen, wie sich unmittelbar aus der Figur ergibt, einander näher gerückt, als diess bei gleichmässiger Verkleinerung der Fall wäre. Dasselbe Raisonement findet natürlich auch auf beliebige andere Punkte, welche in radialer Richtung neben einander liegen, Anwendung. So gelangen wir also zu dem allgemeinen Schluss, dass die Flächenelemente des Objectivbildes in Folge der sphärischen Aberration des Collectivs um so stärker verkleinert werden, je grösser ihr Abstand von der optischen Axe. Dem entsprechend würde z. B. ein quadratisches Maschennetz (Fig. 22), als Objectivbild gedacht, im reellen Bilde des Collectivs wie in Fig. 23 erscheinen.



Figur 22.



Figur 23.



Figur 24.

Gerade umgekehrt ist die Wirkung, wenn eine Linse unter übrigens gleichen Voraussetzungen so gestellt ist, dass sie statt reeller virtueller Bilder liefert. Es leuchtet diess sogleich ein, wenn man in Fig. 21 die nach o und o' gezogenen Linien rückwärts verlängert; die peripherischen Bildpunkte rücken alsdann in Folge der Kugelabweichung über die Stelle hinaus, die sie bei Anwendung einer aplanatischen Linse einnehmen würden. Die Randpartieen des Bildes erscheinen also stärker vergrössert als die centralen; das quadratische Maschennetz erhält das Aussehen von Fig. 24. Bekanntlich ist diess die Verzerrung, die man bei jeder nicht

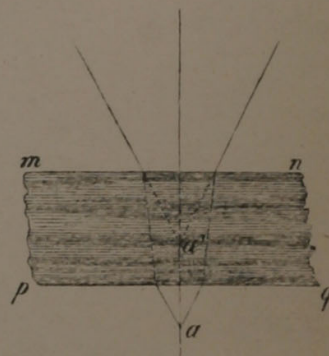
achromatischen Loupe in höherem oder geringerem Grade beobachtet und die man früher irrthümlich als Krümmung des Gesichtsfeldes zu bezeichnen pflegte. Da nun die Ocularlinse selbstverständlich eine ähnliche Verzerrung hervorruft, folglich der Collectivlinse entgegengesetzt wirkt, so lässt sich immer ein Verhältniss denken, bei welchem das schliessliche virtuelle Bild des Mikroskops eine nahezu gleichmässige Vergrösserung zeigt oder, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, ziemlich geradflächig erscheint. Auf der Herstellung eines solchen Verhältnisses beruht die sogenannte Ebenung des Gesichtsfeldes, auf welche wir weiterhin in einem besondern Kapitel zurückkommen werden.

- 57 Die sphärische Aberration des Collectiv- und Ocularglases bedingt also unter den im Mikroskop gegebenen Verhältnissen stets eine Verzerrung des reellen Bildes in dem Sinne, dass die Randpartieen schwächer vergrössert erscheinen als die Mitte, und eine Verzerrung des schliesslichen virtuellen Bildes in entgegengesetztem Sinne. Ob hiebei die Bildpunkte in einer ebenen oder gekrümmten Fläche liegen, ist völlig gleichgültig; die (wirkliche) Krümmung der Bildfläche ist eine Erscheinung ganz anderer Art, welche von den ältern Mikrographen mit Unrecht als die Ursache der Verzerrung bezeichnet wird. Wir werden geeigneten Orts näher auf diesen Punct eingehen; hier kann es sich nur um die Frage handeln, ob und in welcher Weise die sphärische Aberration auf die Bildfläche selbst influire, oder mit andern Worten, welche Veränderungen am Bilde einer aplanatisch gedachten Linse eintreten, wenn die letztere durch eine nicht aplanatische von gleicher Brennweite (für Centralstrahlen) ersetzt wird. Die Frage ist leicht zu beantworten. Eine nicht aplanatische Linse wirkt auf die peripherischen Lichtbündel, weil sie nur einen kleinen Theil der Linse treffen, genau so, wie eine aplanatische von etwas kürzerer Brennweite; sie rückt also *ceteris paribus* reelle Bildpunkte etwas näher und entfernt virtuelle. Die sphärische Aberration des Collectivs wirkt somit gleichsam anziehend auf die Randpartieen des reellen Bildes, während diejenige des Oculars auf das schliessliche virtuelle Bild einen abstossenden Einfluss übt. Anziehung und Abstossung nehmen natürlich von aussen nach innen ab und werden im Centrum Null. Die Krümmung der Bildfläche betreffend, ergiebt sich also, dass dieselbe in Folge der Kugelabweichung stärker oder schwächer ausfällt, je nachdem die convexe Seite im aplanatischen Systeme nach oben oder nach unten gekehrt ist.

VI.

Vom Einfluss der Deckgläschen.

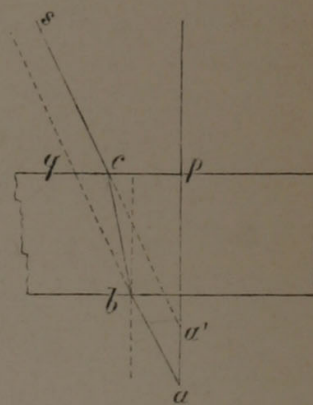
Ein Blick auf die nebenstehende Fig. 25 lehrt, dass zwei Strahlen, die 58 von einem Punkte a ausgehen, nach dem Durchgang durch ein von parallelen Flächen (mn und pq) begrenztes Medium von einem Punkte a' zu kommen scheinen, welcher mehr oder weniger vom Objectpuncte a absteht. Sind beide Strahlen gleich gegen die brechenden Flächen geneigt, so fallen die Punkte a und a' in eine mit dem Einfallslloth parallele Gerade; sind sie dagegen ungleich geneigt, so bildet ihre Verbindungslinie einen schiefen Winkel mit der Richtung des Perpendikels.



Figur 25.

Ein Lichtbündel, dessen Strahlen vom Objectpuncte a aus divergiren, wird demzufolge nach dem Austritt aus dem Deckgläschen nicht mehr homocentrisch sein, sondern aus unendlich vielen in einander geschachtelten Kegeln bestehen, deren Spitzen senkrecht oder schief über einander liegen, je nachdem der einfallende Lichtkegel mit Rücksicht auf das Deckgläschen ein senkrechter oder schiefer war. Der reelle Objectpunct stellt sich also virtuell als eine Linie dar, deren Länge, wie leicht einzusehen, mit der Dicke des Deckgläschen und dem Oeffnungswinkel des Objectivs zu- und abnimmt.

Ist ab (Fig. 26) ein einfallender Strahl, welcher das Deckgläschen in der Richtung bc durchsetzt und hierauf in das ursprüngliche Medium übergeht, so ist cs parallel mit ab . Die Lage des Punctes a' , in welchem der rückwärts verlängerte ausfahrende Strahl die Senkrechte ap schneidet, lässt sich alsdann trigonometrisch bestimmen. Bezeichnet man nämlich den Einfallswinkel mit α , den Brechungswinkel mit α' und die Dicke des



Figur 26.

Deckgläschen mit D , so ist zunächst $bc = \frac{D}{\cos \alpha'}$. Das Dreieck qcb er-
giebt sodann

$$qc = bc \cdot \frac{\sin (\alpha - \alpha')}{\cos \alpha} .$$

Endlich erhält man aus dem Dreieck aqp , da $a'c$ mit aq parallel ist: $aa' : qc = ap : pq = \cos \alpha : \sin \alpha$, folglich

$$aa' = qc \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} .$$

Substituirt man nun für qc und bc deren Werthe, so hat man:

$$aa' = D \frac{\sin(\alpha - \alpha')}{\sin \alpha \cos \alpha'}$$

und nach leicht zu übersehender Reduction:

$$aa' = D \left(1 - \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} \right).$$

Wird α zu 40° und der Brechungscoefficient des Deckgläschens zu 1,5 angenommen, so erhält man, wenn das umgebende Medium Wasser ist,

$$aa' = 0,168106 \cdot D,$$

und wenn als umgebendes Medium Luft vorausgesetzt wird,

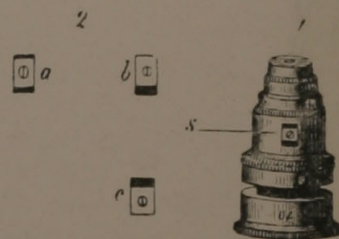
$$aa' = 0,565037 \cdot D.$$

Im gewöhnlichsten Fall, wenn nämlich unterseits Wasser, oberseits Luft sich befindet, erhält der letztere Ausdruck noch einen kleinen Zuwachs, welcher mit der Entfernung des Objectpunctes von der untern Fläche des Deckgläschens grösser und kleiner und für die Entfernung $= 0$ ebenfalls Null wird. *)

- 59 Es ist nun nach den oben (s. Nr. 54) mitgetheilten Angaben über den Gang der Randstrahlen einleuchtend, dass eine Verkleinerung der Objectdistanz, welche selbst bei Deckgläsern von nur $\frac{1}{5}$ mm Dicke für Strahlen von 40° Neigung noch circa $\frac{1}{9}$ mm beträgt, einen merklichen Einfluss auf die Lage des entsprechenden Objectivbildes und somit auch auf die Verbesserung der Aberrationen üben muss. Ein Mikroskop, welches von unbedeckten Objecten ein scharfes Bild entwirft, wird bei Anwendung eines Deckgläschens um so trübere Bilder liefern, je grösser die dadurch bewirkte Veränderung der Objectdistanz. Ebenso wird ein Instrument, dessen Objectiv zum Eintauchen in Wasser bestimmt ist, sich bei der Beobachtung in Luft als weniger aplanatisch erweisen, wenn nicht eine entsprechende Correction durch Veränderung der Linsenabstände den Fehler gut macht. Dabei versteht sich von selbst, dass Objectivsysteme mit Oeffnungswinkeln von 120 bis 160° , wie sie gegenwärtig von den meisten Mikroskopverfertignern geliefert werden, gegen solche Einflüsse weit empfindlicher sind als diejenigen, deren Oeffnungswinkel nur 60 — 80° beträgt. Darum sind denn auch die stärksten Objective neuester Construction mit Vorrichtungen bedacht, welche den Abstand der ersten Linse von den beiden übrigen zu verändern gestatten, so weit die Compensation der vorausgegangenen Brechung diess erheischt. Als Regel gilt dabei, dass der Linsenabstand um so kleiner gemacht wird, je grösser die scheinbare Annäherung des Objectes durch das Deckplättchen. Correctionsvorrichtungen dieser Art besitzen z. B. die Objectivsysteme Nr. 3—7 von Nachet (objectifs à cor-

*) Die seitliche Verschiebung, welche bei schiefem Lichteinfall stattfindet, gewährt in praktischer Hinsicht zu wenig Interesse, als dass hier eine nähere Bestimmung derselben angezeigt wäre. Denn für das Contourenbild ist die schiefe Beleuchtung ganz und gar bedeutungslos und für die Abbildung der Details sind Factoren maassgebend, welche vom dioptrischen Strahlengange unabhängig sind. Vgl. hierüber die Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung.

rections), die Immersionslinsen Nr. 9—18 von Hartnack, Nr. 3 von Zeiss, Nr. 1—3 von Schröder, Nr. 9 und 10 von Leitz etc., ferner die stärkern Linseneinsätze von Plössl, Winkel, Möller etc. und die englischen Objective von Ross, Smith, Powell u. A. Der Mechanismus derselben ist aus Fig. 27 zu ersehen, in welcher der Metallschieber *s* die verschiedenen Linsenstellungen anzeigt. Seine mittlere Lage *a* und die beiden extremen *b* und *c* sind nebenan noch besonders dargestellt. Die Bewegung der Linsen gegen einander wird am besten so bewerkstelligt, dass die Frontlinse unbeweglich bleibt, statt wie früher diese letztere zu verschieben. Für den practischen Gebrauch ist damit der Vortheil verbunden, dass das Object während der Correctionsbewegung nicht aus dem Gesichtsfelde verschwindet.



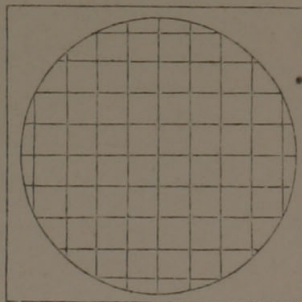
Figur 27.

Ueber den Einfluss der Deckplättchen auf Objective von mittlerer Stärke hat sich Mohl in seiner Mikrophographie ausführlich verbreitet, und wir verweisen rücksichtlich der ältern Systeme von Plössl und Amici auf seine Angaben. Was die neuern Instrumente betrifft, die wir zu untersuchen Gelegenheit hatten, so haben wir nicht gefunden, dass Verschiedenheiten der Dicke, wie sie bei käuflichen Deckgläschen gewöhnlich vorkommen, wenn z. B. 3—6 auf einen Millimeter gehen, auf das mikroskopische Bild in irgend erheblichem Grade influiren. Es rührt diess ohne Zweifel daher, dass die neuern Optiker ihre mittelstarken Objective für gewöhnliche Deckgläschen von c. $\frac{1}{4}$ mm Dicke construiren, während die Amici'schen Systeme ausdrücklich für Deckplättchen von verschiedener und zum Theil sehr beträchtlicher Dicke (bis zu 1,5 mm) bestimmt waren.

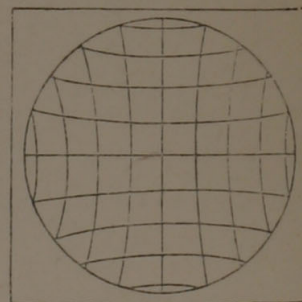
VII.

Die Ebenung des Gesichtsfeldes.

Betrachtet man durch eine Linse oder ein Linsensystem eine gerade 60 Linie, so erscheint sie im Bilde im Allgemeinen nur dann gerade, wenn sie durch das Centrum des Gesichtsfeldes geht, in jeder andern Lage dagegen als eine Curve, deren convexe Seite nach innen gekehrt und deren Krümmung um so stärker ist, je grösser der Abstand vom Centrum. Ein aus quadratischen Maschen bestehendes

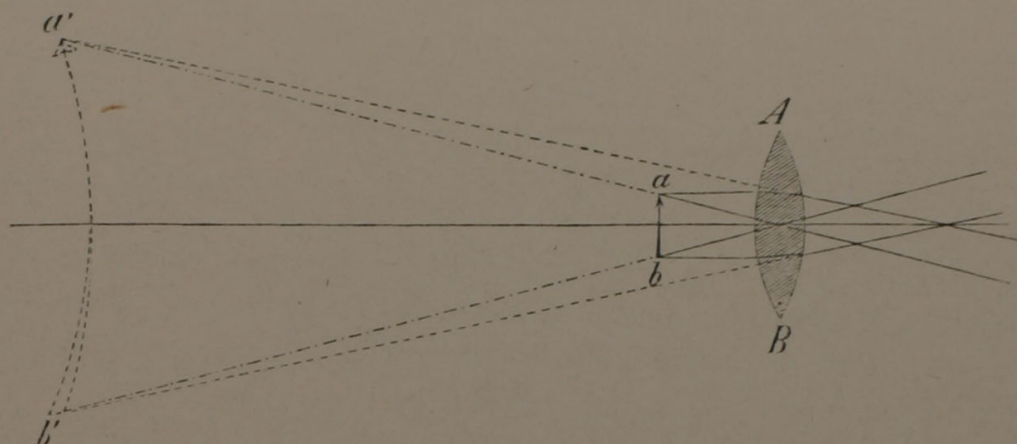


Figur 28.



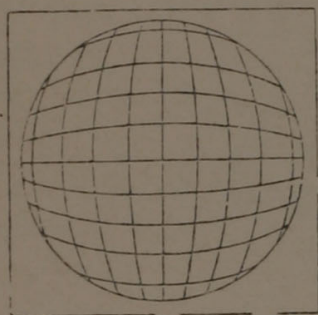
Figur 29.

Netz (Fig. 28) wird dem entsprechend so wahrgenommen, wie es in Fig. 29 dargestellt ist, und ebenso erscheint auch jedes andere Object im virtuellen Bilde mehr oder weniger verzerrt.



Figur 30.

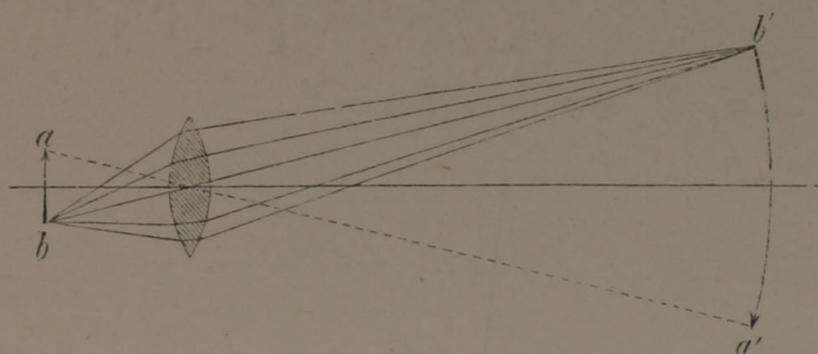
Man pflegte früher diese Verzerrungen dadurch zu erklären, dass die Punkte des virtuellen Bildes $a'b'$ (Fig. 30), welches die Linse AB von der



Figur 31.

zur optischen Axe senkrecht gedachten Ebene ab entwirft, in einer gekrümmten Fläche liegen, deren convexe Seite dem Objecte zugekehrt sei, und dass die peripherischen Theile dieser Fläche in Folge ihrer grösseren Entfernung eine etwas stärkere Vergrößerung zeigen. In gleicher Weise sollte auch die entgegengesetzte Verzerrung der reellen Bilder (Fig. 34), bei welcher die Vergrößerung von innen nach aussen abnimmt, durch eine ent-

sprechende Krümmung der Bildfläche (Fig. 32) hervorgerufen werden (vgl. Harting, das Mikroskop, 4. Aufl., p. 434 u. 278). Seitdem haben nun



Figur 32.

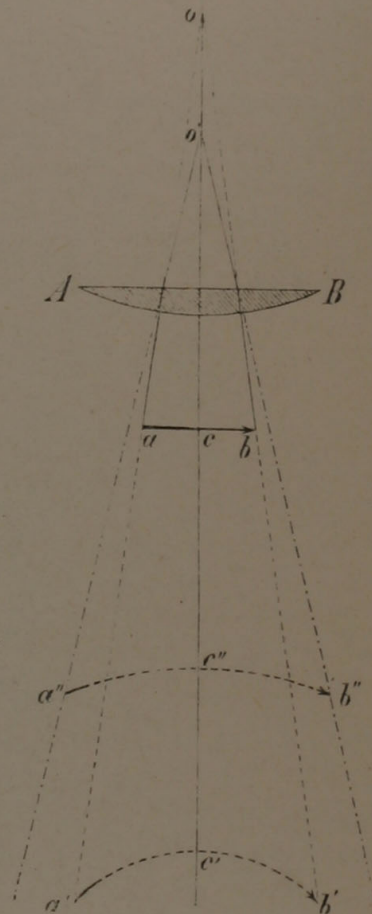
zwar Harting u. A. ihre Ansicht geändert (vgl. 1. e. 2. Aufl. I, p. 400 und 441)*); da jedoch die herkömmliche Auffassung immer noch hin und

*) Harting bezeichnet jetzt die Bildverzerrung als Krümmung des Gesichtsfeldes und unterscheidet dieselbe von der Wölbung des Gesichtsfeldes. Der erstere Ausdruck ist aber jedenfalls nicht glücklich gewählt, da derselbe in der Mathematik stets im Sinne einer Abweichung von der Ebene gebraucht wird. Man spricht z. B. von Flächen doppelter Krümmung und versteht darunter gewölbte Flächen.

wieder spuckt und überdiess in allen Lehrbüchern ältern Datums verbreitet ist, so mag es am Platze sein, unsere Erörterungen über die beregte Frage in dieser zweiten Auflage unverändert wiederzugeben.

Dass die frühere Darstellungsweise eine durchaus irrige ist, geht schon 61 aus dem oben (Nr. 56 und 57) Angeführten klar genug hervor. Es wurde dort gezeigt, dass solche Verzerrungen nicht in der Krümmung der Bildfläche, sondern in der stärkern Brechung der peripherischen Lichtbündel, also in der sphärischen Aberration der bilderzeugenden Linsen ihre Erklärung finden; gleichzeitig aber auch angedeutet, dass unabhängig davon eine wirkliche Krümmung des Bildes vorkommen könne und dass dieselbe durch die Kugelabweichung der Linsen vermehrt oder vermindert werde, je nachdem ihre convexe Seite nach oben oder nach unten gekehrt sei. Dessenungeachtet mag es nicht ganz überflüssig sein, wenn wir hier noch einmal auf diesen Gegenstand zurückkommen, um an einem möglichst einfachen Fall nicht allein die Ursachen der Verzerrung durch die Ocularlinse, sondern gleichzeitig auch diejenigen der Krümmung des virtuellen Bildes klar darzulegen.

Es sei ab (Fig. 33) das Collectivbild, dessen verschälerte Strahlenkegel (die in der Figur durch einfache Linien dargestellt sind) nach dem Punkte o convergiren; ferner AB die Ocularlinse, und der Krümmungsmittelpunct der convexen Fläche in o . Endlich sei das beobachtende Auge auf unendliche Entfernung eingestellt. Alsdann erfahren die nach o convergirenden Lichtbündel, weil sie in der Richtung des Radius einfallen, an der nach unten gekehrten Fläche keine Ablenkung, indem sich die Brechung darauf beschränkt, den Convergenzpunct in der Richtung der Bündelaxe in unendliche Ferne zu rücken. Das hiebei zu Stande kommende virtuelle Bild $a'b'$ (das man sich in unendlicher Ferne*) zu denken hat) stimmt natürlich vollkommen mit dem Objecte überein, d. h. es findet zwischen den einzelnen Objectpuncten und ihren Bildern perspectivische

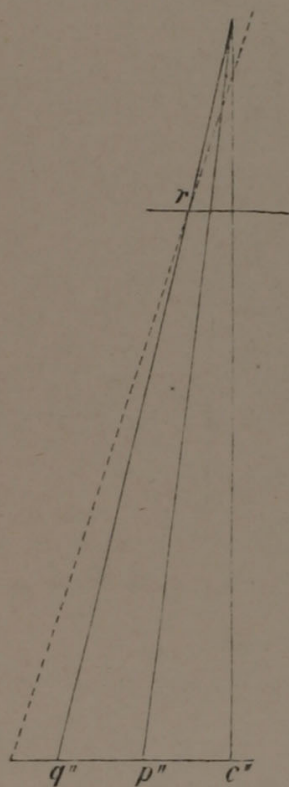


Figur 33.

*) Unsere Figur ist für die gewählten endlichen Entfernungen genau. Das virtuelle Bild wird in diesem Fall durch die zweite Brechung um den $\left(\frac{n-1}{n}\right)$ ten Theil seines frühern Abstandes näher gerückt, wobei n den Brechungscoefficienten bezeichnet. Im Uebrigen ist der Strahlenverlauf genau derselbe.

Deckung statt. Quadratische Maschen müssten also auch im Bilde quadratisch erscheinen. Dessenungeachtet ist dieses virtuelle Bild ziemlich gewölbt, weil die Randpunkte des eben gedachten Objectes weiter von der brechenden Fläche abstehen, als das Centrum.

Durch die zweite Brechung an der obern Fläche der Ocularlinse wird selbstverständlich der Parallelismus nicht gestört: das Bild bleibt in unendlicher Ferne. Allein die Strahlenbündel werden von ihrer Richtung abgelenkt, und zwar um so stärker, je grösser der Winkel, den sie mit der Axe des Mikroskops bilden. Die Vergrösserung, welche das virtuelle Bild dadurch erfährt, wird annähernd durch den Brechungscoefficienten ausgedrückt; sie ist jedoch keine durchweg gleichmässige. Denkt man sich nämlich das Object ab in eine beliebige Zahl gleicher Theile getheilt, so treffen die von den Theilungspunkten ausgehenden Strahlenbündel auch das Ocular, und rückwärts verlängert die Projectionsebene des virtuellen



Figur 34.

Bildes $a'b'$, in gleichen Abständen. Eine gleichmässige Vergrösserung würde also offenbar voraussetzen, dass die abgelenkten Lichtbündel die Axe des Mikroskops in dem nämlichen Punkte schneiden. Diese Voraussetzung trifft nun aber nicht zu, indem der Kreuzungspunkt der peripherischen Strahlen der Ocularlinse stets näher zu liegen kommt, als der der mittleren. Dadurch wird aber das schliessliche virtuelle Bild nothwendig mehr oder weniger verzerrt. Denn ist c'' (Fig. 34) das Bild des in der Axe liegenden Objectpunctes c , p'' dasjenige eines beliebigen Theilungspunctes p , so müsste ein doppelt so weit abstehender Punct q bei gleichmässiger Vergrösserung auch im Bilde in doppelter Entfernung, also in q'' , entworfen werden. In Wirklichkeit dreht sich nun aber das bilderzeugende Lichtbündel etwas stärker um seinen Einfallspunct r in der obern Fläche der Ocularlinse, da es die Axe in etwas geringerer Entfernung schneidet. Der Punct q'' fällt also, wie die punctirte Linie diess andeutet, um eine gewisse Grösse weiter nach aussen; folglich wird im

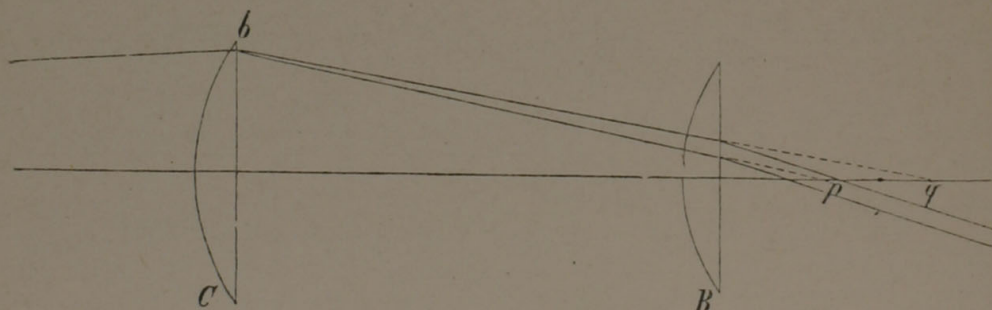
virtuellen Bilde, das wir beobachten, $c''q'' > 2 \times c''p''$ und $p''q'' > c''p''$. Das heisst aber nichts anderes, als dass die Vergrösserung mit der Entfernung von der Axe zunimmt. Diese Zunahme beschränkt sich jedoch, wie leicht einzusehen, auf die radiale Richtung; die tangentiale wird bloss insofern betroffen, als mit der Verschiebung der Bildpunkte in radialer Richtung natürlicher Weise auch eine proportionale Veränderung ihrer Abstände verbunden ist. Gerade Linien im Object, welche (nöthigenfalls verlängert) sich im Mittelpunkt des Gesichtsfeldes schneiden, müssen daher auch im Bilde als gerade Linien sich darstellen; in jeder andern Richtung

dagegen bedingt die ungleichmässige Vergrösserung eine um so stärkere Krümmung derselben, je weiter sie vom Mittelpunkt abstehen.

Wir dürfen es hienach als festgestellt betrachten, dass Krümmung und **62** Verzerrung zwei durchaus verschiedene Erscheinungen sind, die sich in keiner Weise wechselseitig bedingen. Die Verzerrung hängt, wir wiederholen es, von der sphärischen Aberration der brechenden Flächen, die Krümmung dagegen von den ungleichen Abständen der zugehörigen Objectpuncte ab (wobei das Bild der vorhergehenden Fläche für die nächstfolgende als Object zu betrachten ist). Ist die sphärische Aberration auch ausgeglichen, so folgt daraus noch nicht, dass das mikroskopische Bild damit geebnet sei, und umgekehrt kann ein vollkommen ebenes Bild noch mehr oder weniger verzerrt erscheinen. Beide Uebelstände müssen gehoben sein, wenn die Ebenung des Gesichtsfeldes im herkömmlichen Sinne des Wortes eine vollständige sein soll.

Die Verzerrung sowohl als die Krümmung lässt sich auf zwei verschiedene Arten beseitigen, einmal dadurch, dass das Ocular durch Hinzufügen planconcaver Flintglaslinsen aplanatisch und orthoskopisch gemacht wird, sodann zweitens durch geschickte Wahl und Combination einfacher Planconvexlinsen als Collectiv und Ocular, indem die entgegengesetzten Abweichungen so regulirt werden, dass sie sich aufheben.

Nachdem die Principien, auf denen der Aplanatismus beruht, bereits in einem frühern Kapitel auseinandergesetzt worden, haben wir nicht nöthig, hier noch einmal auf den Gegenstand zurückzukommen. Man sieht leicht ein, dass die Construction aplanatischer Oculare eine viel einfachere Aufgabe ist, als diejenige der Objective, weil es möglich ist, die Krümmungen der Linsen den Anforderungen der Rechnung gemäss herzustellen. Es bleibt uns also nur die Frage zu erörtern übrig, wie bei einem gewöhnlichen Ocular die Aberrationen verbessert werden können, und wie im Allgemeinen die Krümmungen der brechenden Flächen auf die Krümmung des Bildes influiren.



Figur 35.

Was zunächst den erstern Punct betrifft, so giebt folgende Betrachtung **63** die nöthigen Anhaltspuncte. Es sei bq (Fig. 35) der Weg eines peripherischen Strahlenbündels nach der Brechung in einem aplanatisch ge-

dachten Collectiv C , oder, wenn man lieber will, diejenige Richtung, welche das gebrochene Bündel einschlagen müsste, um ein völlig correctes, d. h. mit dem dargebotenen Object übereinstimmendes reelles Bild zu liefern; ferner bp der Weg des nämlichen Bündels nach dem Durchgang durch eine einfache Collectivlinse von gleicher Brennweite oder, was damit gleichbedeutend ist, durch dasselbe Collectiv, nicht aplanatisch gedacht. Es ist nun ohne Weiteres klar, dass die Abweichung dieses letztern Strahlenbündels nur dann vollständig ausgeglichen wird, wenn es nach dem Durchgang durch das Ocular von einem Punkte zu kommen scheint, welcher der Richtung des Bündels bq nach einer aberrationslosen Brechung in der aplanatisch gedachten Ocularlinse entspricht. Ist das Auge auf unendliche Ferne eingestellt, so müssen folglich die beiden Strahlenbündel nach dem Austritt aus dem Ocular parallel verlaufen, was voraussetzt, dass der Parallelismus schon durch die Brechung an der untern Linsenfläche hergestellt sei. An diesen einfachen Fall wollen wir unsere weitem Betrachtungen anknüpfen.

Wir denken uns nun die Ocularlinse so gestellt, dass ihr Krümmungscentrum in die Mitte zwischen die Punkte p und q fällt. Alsdann werden beide Bündel so gut wie ohne Aberration und gleich stark gegen einander gebrochen, weil sie unter gleichen und sehr kleinen Winkeln (c. $4-4,5^\circ$) einfallen. Zur Herstellung des Parallelismus ist jetzt offenbar bloss nöthig, dass der Punkt b , von welchem die Bündel ausgehen, in den Brennpunkt der brechenden Fläche falle. Da nun der entsprechende Punkt des Collectivbildes genau dieselbe Lage haben muss, um im virtuellen Bilde in unendlicher Ferne gesehen zu werden, so folgt daraus, dass der Aplanatismus unter den angenommenen Voraussetzungen nur hergestellt werden kann, wenn die Ocularlinse um ihre Brennweite vom Collectiv absteht und dem entsprechend das reelle Bild im Niveau des letztern zu Stande kommt. Eine Vergrößerung dieses Abstandes bei gleicher Lage des Krümmungsmittelpunctes (man denke sich ein schwächeres Collectiv oder ein stärkeres Ocular) muss nothwendig die Convergenz, eine Verkleinerung die Divergenz der austretenden Strahlenbündel bedingen. Im erstern Falle würde das aberrirende Bündel dem eingebildeten aberrationslosen zugebrochen, seine Verlängerung nach rückwärts entspräche einem der Axe zu nahe liegenden Punkt: das virtuelle Bild müsste nach aussen zu schwächer vergrößert erscheinen. Im zweiten Fall ist die Wirkung entgegengesetzt; das Bündel trifft, rückwärts verlängert, einen von der Mitte zu weit abstehenden Punkt: das Bild zeigt die entgegengesetzte Verzerrung.

- 64 Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Krümmungsmittelpunct der Ocularlinse dieser letztern näher liegt, als die Punkte p und q . Der Einfallswinkel des aberrirenden Lichtbündels wird nämlich in diesem Falle merklich grösser, als im vorhergehenden, und in Folge dessen die Aberration auch in der Ocularlinse spürbar; das Bündel wird stärker gegen

die Axe gebrochen als das eingebildete aberrationslose. Würde jetzt der Ausgangspunct b der beiden Bündel um die Brennweite von der sphärischen Fläche abstehen, so müssten dieselben nach dem Durchgang durch das Ocular divergiren, während sie im vorhergehenden Fall parallel waren. Um den Parallelismus herzustellen, muss folglich der Abstand etwas grösser gewählt werden als die Brennweite, und zwar um so mehr, je grösser der Einfallswinkel des aberrirenden Bündels. Das reelle Bild kommt also nicht im Niveau des Collectivs, sondern über demselben zu Stande, — bekanntlich die gewöhnliche Einrichtung des Campani'schen Oculars.

Durch ein ähnliches Raisonement lässt sich darthun, dass die Verschiebung des Krümmungsmittelpunctes nach rechts (was übrigens eine schwache Ocularlinse voraussetzt) für den Aplanatismus die Bedingung ergiebt, dass der Abstand der beiden Linsen kleiner sein muss, als die Brennweite der oberen. Das Ocular erhält in diesem Fall eine Einrichtung, welche im Princip mit der Ramsden'schen übereinstimmt, indem das reelle Bild vor die untere Linse fällt.

Es ist also nach dem Vorhergehenden möglich, einfache Linsen in ver- 65
schiedener Weise zu einem unter den gegebenen Verhältnissen aplanatischen Systeme zu verbinden. Nur versteht sich von selbst, dass die strenge Erfüllung der Bedingungen im Allgemeinen nur für ganz bestimmte Bündel ausführbar ist, wie ja auch die Beseitigung der sphärischen und chromatischen Aberration im Objectiv sich theoretisch auf bestimmte Neigungen und Farben beschränkt. Ein Ocular, welches für violettes Licht aplanatisch ist, kann es für rothes in der Regel nicht mehr sein, weil sowohl die Lage des Krümmungscentrums als der gegenseitige Abstand der Linsen sich nach der Brechbarkeit der Strahlen richtet. Der Punct p in unserer Figur rückt nämlich, wie man leicht einsieht, um so weiter nach links, je grösser die Brechbarkeit der Strahlen, während q , wie wir annehmen dürfen, seine Lage nicht verändert; überdiess ist die Brennweite der Ocularlinse für jede Farbe eine andere. Die Störungen, welche hieraus für die Brechung an der untern Fläche der Ocularlinse erwachsen, hängen natürlich mit vom Zerstreungsvermögen des Glases ab; sie werden aber namentlich auch durch die jedesmalige Lage des Punctes p bedingt, in welchem die Verlängerungen der verschiedenfarbigen Bündel die Axe schneiden. Liegt p für alle Farben links vom Krümmungsmittelpunct, dann wird ein für violette oder mittlere Strahlen aplanatisches Ocular die Randpuncte des rothen Bildes noch etwas zu weit nach aussen rücken, weil der Divergenzpunct b für diese Farbe sich noch innerhalb der Brennweite befindet. Das Gesichtsfeld müsste also roth umsäumt erscheinen. Diese Farbenabweichung findet nun aber in der Brechung an der oberen Linsenfläche ein Gegengewicht, weil hier die violetten Strahlen stärker gegen die Axe abgelenkt werden, als die rothen. Man begreift auch, dass dieses Gegengewicht so lange vorwiegen muss, als sämmtliche Strahlen durch die Ge-

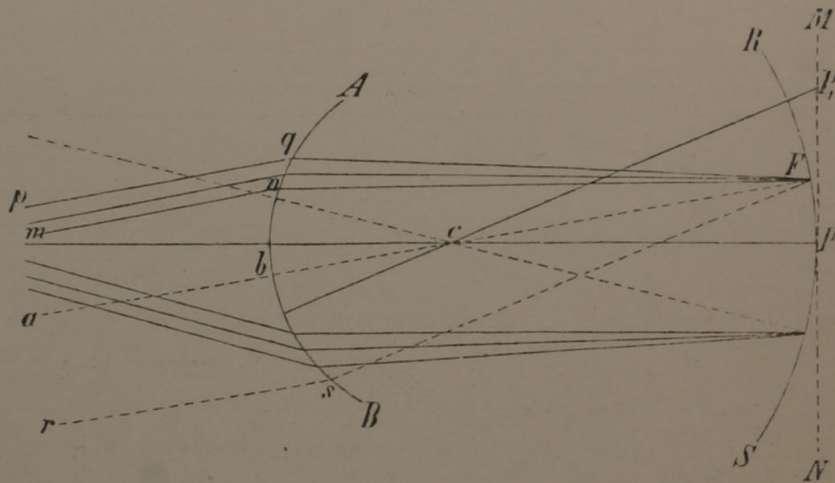
samtwirkung der Linse der Axe zugebrochen werden. Der rothe Saum des Gesichtsfeldes geht hienach im schliesslichen Bilde in einen blauen über.

Dasselbe Endresultat erhält man auch, wenn der Punct p sich für sämtliche Farben rechts vom Krümmungscentrum befindet; allein da in diesem Fall die sphärische Aberration des unter grösserem Winkel einfallenden rothen Bündels mit dem Abstand der beiden Linsen wächst, so giebt es eine Grenze, wo sie der Farbenabweichung das Gleichgewicht hält. Darüber hinaus geht der blaue Rand des Gesichtsfeldes in einen rothen über. Da nun diese Grenzlage bei gegebenen Krümmungen einzig und allein vom Zerstreuungsvermögen der Gläser abhängt, so lässt sich unter allen Umständen eine Glassorte denken, welche die Herstellung des Aplanatismus für rothes und violettes Licht gleichzeitig gestattet. Und wenn z. B. das Kronglas diese Eigenschaft für eine bestimmte Linsencombination annähernd besitzt, so muss es möglich sein, durch kleine Aenderungen der Abstände und Krümmungen die noch vorkommenden Abweichungen auf ein Minimum zu reduciren. Wir gelangen also zu dem Schluss, dass die Ausgleichung der Farbenzerstreuung mit der Beseitigung der sphärischen Aberration vereinbar sei.

66 Was nun noch die Krümmung der Bildfläche betrifft, so ist die gewöhnliche Darstellung, nach welcher das Collectivbild seine convexe Seite nach unten kehrt, eine irrthümliche. Gerade das Gegentheil findet statt. Man überzeugt sich hievon, indem man eine ebene, mit feinen Stäubchen bedeckte Glasplatte oder eine Mikrometertheilung auf die Blendung der Ocularröhre legt und die Ränder derselben im mikroskopischen Bilde mit denjenigen des Collectivbildes vergleicht. Man findet alsdann, dass der Rand des Collectivbildes eine etwas tiefere Einstellung der Ocularlinse erfordert, als die gleich gelegenen Puncte der Glasplatte. Das Collectivbild muss also nach oben gewölbt sein. Es kann auch aus theoretischen Gründen sich unmöglich anders verhalten. Denn denken wir uns in AB (Fig. 36) eine brechende Fläche, welche alle mit der Axe ac parallelen Strahlen zwischen pq und rs im Brennpuncte F zur Vereinigung bringt, so werden natürlich auch die Strahlen des peripherischen Bündels $pqmn$ nach diesem Puncte gebrochen. Ganz dasselbe gilt auch für jeden andern Strahlencylinder und die mit ihm parallel verlaufenden Bündel. Und zwar ist der Abstand der verschiedenen Brennpuncte von der brechenden Fläche, auf der durch das Krümmungscentrum gehenden Cylinderaxe gemessen, und folglich auch der Abstand vom Krümmungscentrum selbst eine unveränderliche Grösse. Die Brennpuncte gehören demnach einer Kugelfläche an, deren Centrum mit dem der brechenden Fläche zusammenfällt.

Lassen wir jetzt die cylindrischen Strahlenbündel in schwach convergirende übergehen, so zwar, dass die Convergenzpuncte der verschiedenen geneigten Bündel gleich weit vom Krümmungscentrum der brechenden

Fläche absteigen, so rücken ihre reellen Bildpunkte der brechenden Fläche etwas näher; sie bilden aber nach wie vor eine gekrümmte Fläche mit demselben Krümmungsmittelpunkt. Auf das Collectiv übertragen heisst das: wenn das als virtuelles Object dargebotene Objectivbild eine nach



Figur 36.

oben convexe Krümmung zeigt, deren Centrum mit dem des Collectivs zusammenfällt, so erhält auch das durch die Brechung an der sphärischen Fläche erzeugte Bild eine damit parallele Krümmung.

Es lässt sich nun ferner zeigen, dass eine Krümmung in gleichem **67** Sinne noch stattfindet, wenn das Objectivbild eben gedacht wird. Nehmen wir der Einfachheit wegen an, dasselbe falle in die Tangentialebene MN (Fig. 36) der erwähnten Brennfläche, und bezeichnen wir den Abstand des Objectpunctes P von der brechenden Fläche mit p und den des entsprechenden Bildpunctes mit p^* , ferner den Abstand des Objectpunctes P_1 und seines Bildpunctes mit p_1 und p_1^* , endlich die Brennweite mit f und den Krümmungsradius des Collectivs mit r . Dann ist nach Früherem $\frac{1}{p^*} = \frac{1}{f} + \frac{1}{p}$, folglich im gegebenen Falle $p^* = \frac{pf}{p+f} = \frac{1}{2}f = \frac{1}{2}p$, und wenn der Brechungscoefficient zu 1,5 angenommen wird, $p^* = \frac{3}{2}r$. Die Grösse p_1 ist durch die Proportion $(p_1 - r) : (p - r) = 1 : \cos \varphi$ bestimmt, wenn nämlich φ den Winkel $P_1 c P$ bezeichnet und der Radius der Brennfläche als Einheit gewählt wird. Man erhält hieraus:

$$p_1 = r + \frac{p-r}{\cos \varphi} = r + \frac{2r}{\cos \varphi};$$

folglich

$$p_1^* = \frac{p_1 f}{p_1 + f} = \frac{\left(r + \frac{2r}{\cos \varphi}\right) \cdot \frac{3}{2}r}{r + \frac{2r}{\cos \varphi} + \frac{3}{2}r} = \frac{3r}{2} \cdot \frac{2 + \cos \varphi}{1 + 2 \cos \varphi}.$$

Die Abstände p^* und p_1^* sind also beziehlich $\frac{3r}{2}$ und $\frac{3r}{2} \cdot \frac{2 + \cos \varphi}{1 + 2 \cos \varphi}$, folglich die Entfernungen der Bildpunkte vom Krümmungscentrum, die wir

d^* und d_1^* nennen wollen, $\frac{1}{2} r$ und $\frac{3}{2} r \cdot \frac{2 + \cos \varphi}{1 + 2 \cos \varphi} \cdot r$. Durch eine leicht zu übersehende Reduction erhält man:

$$d_1^* = \frac{1}{2} r \cdot \frac{4 - \cos \varphi}{1 + 2 \cos \varphi}$$

und hieraus
$$d^* : d_1^* = 1 : \frac{4 - \cos \varphi}{1 + 2 \cos \varphi}.$$

Befänden sich die beiden Bildpunkte in einer zur Mikroskopaxe senkrechten Ebene, so wäre das Verhältniss ihrer Entfernungen vom Punkte c offenbar gegeben durch $1 : \frac{1}{\cos \varphi}$; es fragt sich nun, ob das zweite Glied im ersten oder im zweiten Ausdruck grösser sei. Setzt man $\beta = 1 - \cos \varphi$, so ergibt sich:

$$\frac{4 - \cos \varphi}{1 + 2 \cos \varphi} : \frac{1}{\cos \varphi} = \frac{3 + \beta}{3 - 2\beta} : \frac{3}{3 - 3\beta}.$$

In dieser letztern Form stellen die beiden Werthe zwei Brüche vor, bei welchen der Zähler grösser ist, als der Nenner. Dabei sind Zähler und Nenner des erstern Bruches um β grösser als im zweiten, folglich $\frac{3 + \beta}{3 - 2\beta} < \frac{3}{3 - 3\beta}$. Die Bildfläche ist also auch in diesem Falle gekrümmt und ihre convexe Seite nach oben gerichtet. Diese Krümmung ist freilich unter den gegebenen Verhältnissen so gut wie Null; denn die Grösse p_1^* fällt z. B., wenn $\varphi = 4^\circ$ und $r = 20^{\text{mm}}$ gesetzt wird, nur um circa 0,02 Mikromillimeter kleiner aus, als in dem eben gedachten Bilde. Dieselbe wird nun aber in Wirklichkeit noch durch den Umstand verstärkt, dass die brechende Fläche nicht, wie wir vorausgesetzt haben, aplanatisch, sondern mit der bekannten Abweichung wegen der Kugelgestalt behaftet ist. Sie wirkt also, wie bereits hervorgehoben wurde, auf die peripherischen Strahlenbündel, wie eine aplanatische Fläche von kürzerer Brennweite und rückt in Folge dessen die entsprechenden Bildpunkte etwas näher. Dadurch muss die Krümmung, auch wenn die Länge der sphärischen Aberration nur zu 0,1 der Brennweite angenommen wird, eine augenfällige werden.

68 Die Wirkung der Ocularlinse wurde bereits oben für einen bestimmten Fall erörtert. Es ergab sich, dass das von ihr entworfene Bild einer ebenen Fläche gekrümmt sein müsse, weil die peripherischen Punkte derselben weiter von den brechenden Flächenelementen abstehen als die centralen. Eine solche Krümmung muss offenbar immer eintreten, wenn die sphärische Aberration, wie es bei einfachen Linsen der Fall ist, in gleichem Sinne wirkt. Das schliessliche virtuelle Bild eines gewöhnlichen Oculars kann also unmöglich eben sein, es sei denn, dass das Objectivbild selbst gekrümmt sei und seine convexe Seite nach unten kehre. Die günstigste Stellung der Ocularlinse wird immerhin diejenige sein, bei welcher die vom Collectiv kommenden Strahlenbündel unter möglichst kleinen Winkeln auf die sphärische Fläche eintreffen.

Bei der Ramsden'schen Einrichtung des Oculars sind die Verhältnisse, welche auf die Krümmung influiren, verwickelter. Da hier die untere Linse ihre ebene Fläche dem reellen Objectivbilde zukehrt, so müsste das von ihr entworfene virtuelle Bild nach unten gewölbt sein, würde nicht die sphärische Aberration, welche nach Früherem in entgegengesetztem Sinne wirkt, das Uebergewicht erreichen. Das Letztere ist nun aber in der Regel der Fall, so dass die Gesamtwirkung des Oculars so ziemlich dieselbe bleibt, wie bei der Campani'schen Einrichtung.

In praktischer Hinsicht hat übrigens eine schwache Krümmung des Gesichtsfeldes wenig zu bedeuten. Es sind uns auch keine Oculare bekannt geworden, die aplanatischen und orthoscopischen von Plössl u. A. nicht ausgenommen, bei welchen dieselbe vollständig gehoben wäre. Das Hauptaugenmerk der Optiker ist mit Recht darauf gerichtet, vor Allem die Verzerrung der Bilder für die verschiedenen Farben möglichst zu beseitigen und die noch übrig bleibenden Abweichungen so zu reguliren, dass die rothen und violetten Bildpunkte sich wenigstens im mittlern Theil des Gesichtsfeldes vollkommen decken. Ist diess für eine bestimmte Tubuslänge erreicht, so muss das Ocular jedes beliebige Objectivbild bei gleicher Tubuslänge möglichst scharf wiedergeben.

VIII.

Das Centriren der Linsensysteme.

Wir haben unsern bisherigen Betrachtungen über den Strahlenver- 69
lauf im Mikroskop durchgehends die Annahme zu Grunde gelegt, dass die brechenden Flächen ein genau centrirtes System bilden, d. h. dass ihre Krümmungsmittelpunkte sämmtlich in einer geraden Linie liegen. Der praktische Optiker wird auch stets bemüht sein, diese Annahme zu verwirklichen, allein das Höchste, was er erreicht, ist doch immerhin nur eine Annäherung, die namentlich bei den stärkern Objectiven hinter dem Zustand der Vollkommenheit merklich zurückbleibt. Es drängt sich daher die Frage auf, ob und in welcher Weise eine fehlerhafte Centrirung die Reinheit des Bildes beeinträchtigt, und welche Abweichungen etwa vorzugsweise ins Gewicht fallen.

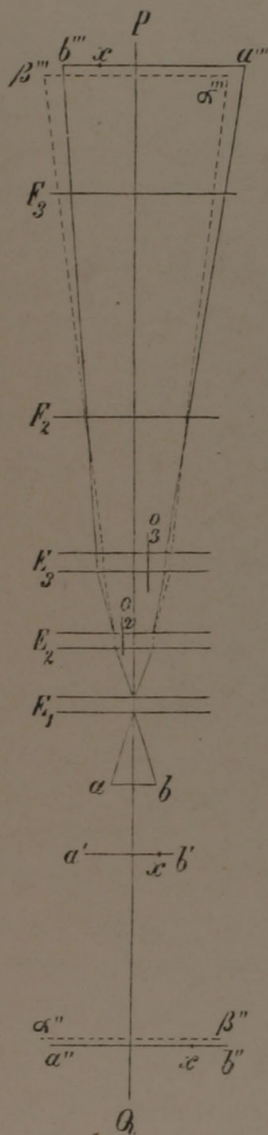
Nach der gewöhnlichen Ansicht ist die genaue Centrirung Bedingung des Aplanatismus. Schon eine geringe Abweichung, meint Harting*), müsse nothwendiger Weise sehr nachtheilige Folgen haben, und auch Mohl**) spricht sich dahin aus, dass eine Verzerrung des Bildes nach einer

*) Harting, das Mikroskop p. 275, 2. Aufl. I, p. 304.

**) Mohl, Mikrographie p. 176.

Seite hin damit verbunden sei. Diese Ansicht erscheint auf den ersten Blick auch sehr plausibel, ja sogar selbstverständlich; nichtsdestoweniger steht sie sowohl mit der Theorie als mit der Beobachtung, wie im Folgenden gezeigt werden soll, im Widerspruch.

70 Wir denken uns ein aus 3 Doppellinsen bestehendes, vollkommen centrirtes Objectivsystem, welches für alle Punkte eines Gesichtsfeldes von gegebenem Durchmesser möglichst aplanatisch ist, und legen uns nun die



Figur 37.

Frage vor, welchen Einfluss eine kleine seitliche Verschiebung der Linsen auf die Gesamtwirkung des Systems ausübe. Es seien E_1 , E_2 und E_3 (Fig. 37) die Hauptebenenpaare der 3 Doppellinsen, F_2 und F_3 die entsprechenden Brennebenen der beiden hintern Linsen, o_1 , o_2 und o_3 die optischen Axen, wovon die erste, wie wir voraussetzen, mit der Axe PQ des Mikroskops zusammenfällt, während die beiden andern nach rechts und nach links, parallel mit sich selbst, verschoben sind; endlich sei ab das Object, dessen einzelne Punkte bei genauer Centrirung gleich vollkommene Bilder liefern. Construirt man nun mit Hülfe der Richtungsstrahlen den Verlauf der Lichtbündel, welche von den Randpunkten a und b zum Objectiv gelangen, und vergleicht denselben mit dem Strahlenverlauf, wie er im genau centrirten System stattfinden müsste, so lassen sich die Nachtheile, welche die Verschiebung mit sich bringt, leicht überblicken. In unserer Figur beziehen sich die ausgezogenen Linien auf das nicht centrirte, die unterbrochenen dagegen auf das centrirte System. Die virtuellen oder reellen Bilder, welche die einzelnen Doppellinsen entwerfen, wurden bei ersterem mit $a'b'$, $a''b''$ und $a'''b'''$, bei letzterem mit gleich accentuirten griechischen Buchstaben bezeichnet. Die Lage dieser Bilder zur Axe ist natürlich schon durch die Richtung der nöthigenfalls rückwärts verlängerten Strahlen bestimmt; ihre Abstände richten sich nach den Brennweiten und sind selbstverständlich in beiden Fällen dieselben, sie wurden jedoch der grössern Deutlichkeit

wegen etwas verschieden angenommen. Es ist nun an und für sich klar, dass das virtuelle Bild $a'b'$ der ersten Linse durch die Verschiebung keine Veränderung erleidet. Nur insofern es Object ist für die zweite Linse, kommt sein rechter Rand b' in eine etwas ungünstigere Stellung, da er nunmehr um die Verschiebungsgrösse weiter von der optischen Axe o_2 absteht. Von diesem Randtheil entwirft demnach die Linse, wie sich mit Wahrscheinlichkeit annehmen lässt, ein weniger vollkommenes Bild. Der

ganze übrige, weitaus grössere Theil dagegen erfüllt nach wie vor die Bedingung, dass keines seiner Flächenelemente ausserhalb des Gesichtsfeldes fällt, für welches die zweite Linse möglichst aplanatisch ist. Macht man also $b'x$ der Verschiebungsgrösse gleich, so wird im Bilde $a''b''$ ein entsprechendes Stück $b''x$ unbefriedigend ausfallen, während $a''x$ seine ursprüngliche Schärfe behält. Nun fällt aber das ganze Bild, wie die Figur zeigt, etwas weiter nach rechts als vor der Verschiebung, und zwar um eine Grösse, welche zu $b''x$ sich verhält, wie $a''b''$ zu $a''b'' - a'b'$. Man hat, um sich hievon zu überzeugen, nur nöthig, durch b' und den obern Hauptpunct der zweiten Linse in seinen zwei verschiedenen Lagen Linien zu ziehen, dieselben nach unten bis β'' und b'' zu verlängern und die in b' zusammenstossenden Dreiecke mit einander zu vergleichen.

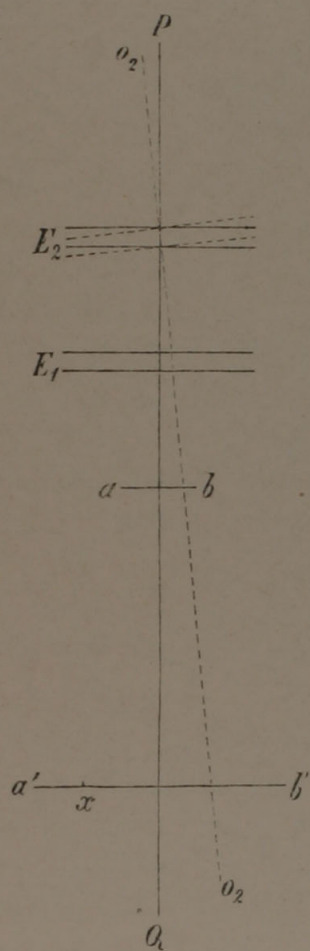
Das virtuelle Bild $a''b''$ nimmt also zur Axe o_3 im Allgemeinen eine veränderte Stellung ein. Nur wenn es zufällig gerade so weit, als diese Axe selbst, nach rechts rückt, bleibt natürlich die relative Lage dieselbe. Das reelle Objectivbild $a'''b'''$ erreicht in diesem speciellen Falle die grösstmögliche Schärfe, da jedoch das Stück $b''x$ des Objectes bereits undeutlich ist, so wird es im Bilde auch undeutlich wiedergegeben. Ist dagegen die Verschiebung des virtuellen Bildes grösser oder kleiner als die der Axe, so kommt im ersten Fall auf der linken, im zweiten auf der rechten Seite ein entsprechender Randtheil des reellen Bildes unter weniger günstigen Bedingungen zu Stande und wird in Folge dessen weniger scharf. Das Stück $b'''x$ wird also möglicher Weise vom Rande her zum zweiten Male verundeutlicht.

So verwischt sich also mit jeder Verschiebung ein entsprechendes Randstück des Objectivbildes, so dass in Wirklichkeit, wenn die fehlerhafte Centrirung der Flint- und Kronglaslinsen ebenfalls in Rechnung gebracht wird, die ganze Peripherie des Gesichtsfeldes mehr oder weniger darunter leiden muss und folglich nur ein mittleres Stück, das jedoch eine beliebige excentrische Lage haben kann, sich in seiner ursprünglichen Reinheit erhält.

Um über die Grenzlinien, bis zu welchen die in unserer Figur dar- 71
gestellten Verschiebungen das mikroskopische Bild beeinträchtigen, einige Anhaltspunkte zu gewinnen, wollen wir annehmen, die erste Linse vergrössere 3mal, die zweite und dritte beziehlich 4 und 6mal — ein Verhältniss, welches mit einem wirklich beobachteten annähernd übereinstimmt. Die Verschiebung der Axe o_2 betrage 0,25, die der Axe o_3 0,50^{mm}. Alsdann ist $b'x = 0,25$, $b''x = 1$, $b'''x = 6^{\text{mm}}$; ferner $\beta''b''$ (in der Richtung senkrecht zur Axe) $= (4 - 1) \times 0,25 = 0,75^{\text{mm}}$ und folglich ein Stück von $6 \times (0,75 - 0,50) = 1,5^{\text{mm}}$ Breite im Objectivbilde, von b''' an gemessen, zum zweiten Mal verundeutlicht. Dieses Stück fällt jedoch, wenn die Blendung im Ocular unbeweglich gedacht wird, auf den Rand derselben; denn da $a''b''$ um 0,25^{mm} weiter nach rechts geschoben erscheint

als o_3 , so kommt das Objectivbild mit Rücksicht auf o_3 $6 \times 0,25 = 1,5^{\text{mm}}$, also mit Rücksicht auf PQ oder auf $\alpha''' \beta'''$, dem Gesichtsfelde des Oculars im centrirten System, um $1,5 - 0,5 = 1^{\text{mm}}$ weiter nach links zu liegen. (In der Figur ist das Verhältniss umgekehrt.) Beträgt der Durchmesser dieses Gesichtsfeldes, d. h. der Blendungsöffnung im Ocular, 18^{mm} , so bleiben also von dem undeutlichen Stück $b''' x$ noch 5^{mm} sichtbar, während auf der andern Seite zwischen α''' und $\alpha''' 1^{\text{mm}}$ der Oeffnung leer ausgeht und nur ausgefüllt werden kann, wenn das Object ab bei a einen kleinen Zuwachs von $\frac{1}{72}^{\text{mm}}$ erhält. Dieser Zuwachs wird im Bilde $a' b'$ etwas weniger scharf, erleidet aber durch die folgenden Brechungen keine weitere Einbusse.

72 Die fehlerhafte Centrirung des Objectivsystems kann nun ferner auch darin bestehen, dass die optischen Axen mit der Axe des Mikroskops kleine



Figur 38.

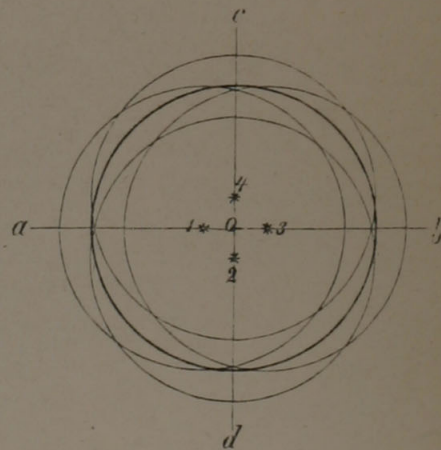
Winkel bilden, — und das ist ein zweiter Punkt, den wir zu erörtern haben. Seien wieder E_1 und E_2 (Fig. 38) die Hauptebenen der ersten und zweiten Doppellinse eines vollkommen centrirten Systems, PQ die gemeinsame optische Axe, ab das Object und $a' b'$ das virtuelle Bild der ersten Linse, also Object für die zweite. Wird jetzt diese letztere um einen ihrer Hauptpunkte gedreht, ohne dass dieser seinen Ort im Raume verändert, während die optische Axe $o_2 o_2$ aus der Richtung PQ heraustritt, so kommt dadurch das Stück $a' x$ des virtuellen Bildes, ähnlich wie im vorhergehenden Falle, in eine ungünstigere Stellung. Insoweit ist also die Wirkung die nämliche, wie bei der seitlichen Verschiebung der optischen Axe, nur dass die durch die Winkelabweichung verursachte Störung mit dem Abstände des Objectes zunimmt. Nun kommt aber noch hinzu, dass in Folge der Neigung der Linse auch das von ihr entworfene Bild geneigt erscheint, wodurch das schliessliche Objectivbild, auch wenn die Neigung durch entgegengesetzte Abweichungen wieder compensirt würde, jedenfalls nur verlieren, nicht gewinnen kann. Im Allgemeinen wirkt also die fragliche Abweichung der optischen Axen noch nachtheiliger als die blosse seitliche Verschiebung derselben;

doch ist dabei zu berücksichtigen, dass beispielsweise ein Winkel von circa 20° dazu gehört, um bei einem Objectabstand von $7-8^{\text{mm}}$, wie er etwa für die zweite Linse angenommen werden kann, der oben vorausgesetzten Verschiebung von $0,25^{\text{mm}}$ äquivalent zu sein. Der Praktiker mag hienach entscheiden, welche Art von Abweichungen leichter zu corrigiren sei.

Wenn beiderlei Abweichungen in einem Linsensystem vorkommen, so ist die resultierende Wirkung genau dieselbe, wie wenn zuerst eine Verschiebung der Axen parallel mit sich selbst und dann eine Neigung derselben, oder auch umgekehrt, stattgefunden hätte. Die arithmetische Bestimmung der Störungen geschieht also einfach durch Addition der beiden Effecte, die im Vorhergehenden gesondert erörtert wurden.

Es ist also nach dem Angeführten allerdings richtig, dass eine fehlerhafte Centrirung auf das mikroskopische Bild einen schädlichen Einfluss übt. Dieser Einfluss beschränkt sich jedoch, wenn wir von der schwachen Neigung der Bilder gegen die Axe absehen, zunächst nur auf die Ränder des Gesichtsfeldes und erreicht erst bei stärkern Abweichungen (die doch wohl zu vermeiden sein dürften) das Centrum desselben. Die bekannte, in der Hauptsache von der Ocularwirkung herrührende Erscheinung, dass das mikroskopische Bild gegen den Rand des Gesichtsfeldes an Schärfe verliert, kann in Folge dieser Abweichungen noch gesteigert werden.

Zum Schlusse mag hier noch eine Betrachtung Platz finden, auf welche wir später, wenn von der Prüfung der Centrirung die Rede ist, Bezug nehmen werden. Es soll gezeigt werden, welche Ortsveränderungen das Bild eines beliebigen Objectpunctes bei mangelhafter Centrirung erfährt, wenn das bilderzeugende Objectivsystem um eine gegebene Axe (PQ Fig. 37 u. 38) gedreht wird. Wir gehen zu diesem Ende von den oben gewonnenen Ergebnissen aus, wonach eine Verschiebung der Linsen im Allgemeinen auch eine Verschiebung des Objectivbildes zur Folge hat. In dem angeführten Beispiel, wo die optischen Axen um $0,25$ und $0,50\text{ mm}$ nach rechts und links gerückt waren, betrug diese Verschiebung 1 mm nach links. Denken wir uns nun das Objectiv auf der linken Seite mit einem Zeichen versehen, so ist einleuchtend, dass während der Drehung um die Axe PQ die Verschiebung immer in der Richtung stattfinden muss, welche durch dieses Zeichen bestimmt ist. Der Mittelpunkt des kreisförmigen Objectivbildes nimmt also zum Centrum o (Fig. 39) des von der Ocularblendung begrenzten Gesichtsfeldes, in welchem man sich ein Fadenkreuz $abcd$ ausgespannt denken mag, nach einander die Stellungen ein, welche mit 1, 2, 3, 4 bezeichnet sind. Derselbe beschreibt also einen Kreis, welcher den Punct o zum Centrum und die Verschiebungsgrösse zum Radius hat. Ebenso beschreibt aber auch jeder andere Punct im Bilde, da ja seine Lage zum Mittelpunkte dieselbe bleiben muss, einen Kreis von gleichem Diameter, dessen Centrum mit dem entsprechenden Bildpunct des centrirten Systems zusammenfällt.



Figur 39.

Aehnliche Erscheinungen beobachtet man natürlich auch, wenn statt des ganzen Objectivs bloss einzelne ungenau centrirte Linsen um ihre Axe gedreht werden. Die Verschiebungen können sogar noch weit beträchtlicher ausfallen, weil Abweichungen, die sonst ein Gegengewicht bildeten, sich in Folge der Drehung zu andern addiren. Es besteht überhaupt zwischen den Abweichungen der einzelnen Axen und der resultirenden Verschiebung des Objectivbildes keine so leicht zu übersehende Beziehung, wie man gewöhnlich annimmt. Wenn z. B. Harting angiebt, dass jede Abnormität sich genau so vielmal vergrössere, als das Object selbst, dass folglich eine Differenz von 10 Mik. in einem 500mal vergrösserten Bilde 5^{mm} ausmache, so ist das eine ganz irrthümliche Darstellung, die schon in dem angeführten Beispiel eine hinlängliche Widerlegung findet. Es ist im Gegentheil immer denkbar, dass sich die Mängel der Centrirung gegenseitig aufheben, so dass das resultirende Bild, obschon es an Schärfe verliert, doch keine Verschiebung erleidet.

Für die Praxis sind übrigens die genannten Beziehungen zwischen den verschiedenen Verschiebungsgrössen ohne alle Bedeutung, da die Centrirung der Objective stets Linse für Linse ausgeführt wird, wobei zur Controlle der noch bestehenden Fehler gewöhnlich nicht die dioptrischen, sondern die Spiegelbilder benutzt werden, welche die Linsenflächen von irgend einer seitlich aufgestellten Lichtquelle entwerfen.*)

IX.

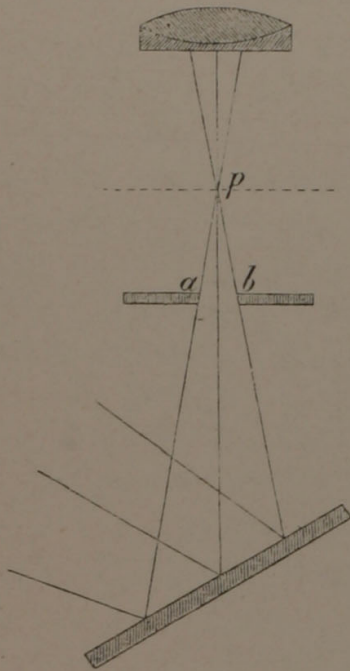
Die Lichtstärke des Mikroskops.

- 74 Die Lichtstärke eines Mikroskops ist zu definiren als diejenige Lichtmenge, welche dasselbe auf die Flächeneinheit der Netzhaut bringt, wenn als Object eine mit bekannter Intensität gleichmässig leuchtende Fläche dient. Als arithmetischer Ausdruck derselben mag das Verhältniss gelten, in welchem diese Lichtmenge zu derjenigen steht, welche dieselbe leuchtende Fläche bei unmittelbarem Sehen auf die Flächeneinheit der Netzhaut bringt. Diess ist bekanntlich eine von der Entfernung vom Auge unabhängige Grösse, da das Netzhautbildchen eines beliebigen Gegenstandes durch Veränderung der Objectdistanz in demselben Verhältniss grösser oder kleiner wird, in welchem die Oeffnung der von den einzelnen Punkten ausgehenden Lichtkegel zu- oder abnimmt. Die in den grösseren Strahlenbündeln enthaltene grössere Lichtmenge vertheilt sich also stets auf eine in demselben Verhältniss grössere Fläche der Netzhaut.

*) Vgl. das Capitel über die »Prüfung der Centrirung«.

Es liesse sich nun denken, dass dieselbe Beziehung auch für das bewaffnete Auge fortbestehe, dass also die Vergrößerungszahl des Mikroskops mit dem Oeffnungswinkel der einfallenden Strahlenkegel in demselben Verhältniss steige und falle. Die Lichtstärke des Mikroskops wäre alsdann der Einheit gleich, d. h. wir würden damit die Gegenstände eben so hell sehen, wie mit blossem Auge. Und wenn irgend welche Linsencombination einen Strahlenkegel mit noch grösserer Oeffnung, als das eben bezeichnete Verhältniss diess bedingt, aufzunehmen und dem Auge zuzuleiten im Stande wäre, so müsste selbstverständlich das Gesichtsfeld nach Maassgabe des Ueberschusses heller beleuchtet erscheinen als mit blossem Auge gesehen. Ein solcher Fall kann indessen, wie unten gezeigt werden soll, auch bei den schwächsten Vergrößerungen gar nicht vorkommen; für die stärkern ist er von vorne herein eine Unmöglichkeit. Der Durchmesser des mikroskopischen Bildes (und daher auch des Netzhautbildes) nimmt nämlich bei steigender Vergrößerung in einem viel raschern Verhältniss zu, als die Oeffnungswinkel der einfallenden Strahlenkegel, welche von den Objectpuncten zum Objectiv und von da zum Auge gelangen. Beim Sehen mit blossem Auge beträgt dieser Winkel, wenn wir den Durchmesser der Pupille zu 2 bis $2\frac{1}{2}^{\text{mm}}$ und die Sehweite zu 250^{mm} festsetzen, 28—34 Minuten, also annähernd $\frac{1}{2}$ Grad; beim mikroskopischen Sehen dagegen je nach der Stärke und Eigenthümlichkeit des Objectivs bis zu 100° und darüber. Von jedem Punct der Einstellungsebene gelangt in diesem Fall eine Lichtmenge zum Auge, welche annähernd im Verhältniss von $100^2 : (\frac{1}{2})^2 = 200^2 : 1$ grösser ist als diejenige, welche das blosse Auge empfängt. Diese Lichtmenge vertheilt sich nun aber auf eine m^2 mal grössere Fläche der Netzhaut, wenn m die lineare Vergrößerungszahl ist. Die resultirende Helligkeit des Gesichtsfeldes, die wir mit v bezeichnen wollen, wird also ausgedrückt durch $v = \frac{200^2}{m^2}$, oder ganz allgemein, wenn der Oeffnungswinkel des Objectivs $= \omega$, derjenige des blossen Auges $= \frac{1}{2}$ gesetzt wird, $v = 4 \left(\frac{\omega}{m} \right)^2$. Die Lichtstärke ist hienach $= 1$, wenn $m = 2\omega$; sie ist kleiner als 1, wenn $m > 2\omega$, was offenbar der gewöhnliche Fall ist. Dabei ist selbstverständlich vorausgesetzt, dass der einfallende Strahlenkegel gross genug sei, um die ganze Oeffnung des Objectivs auszufüllen. Diese Bedingung wird jedoch bei der mikroskopischen Beobachtung bekanntlich nur selten erfüllt, da die Blendung die Neigung der einfallenden Strahlen beschränkt. An die Stelle von ω tritt alsdann der Winkel apb (Fig. 40), unter welchem die Blendung ab vom Puncte p der Einstellungsebene aus gesehen wird. Ist dieser Winkel $= \delta$, so geht obiger Ausdruck über in $v = \left(\frac{2\delta}{m} \right)^2$. Bei der nämlichen Beleuchtung verhalten sich demnach die Helligkeiten des Gesichtsfeldes umgekehrt wie die Quadrate der linearen Vergrößerungszahlen. Wählen wir z. B. die Blendung so,

dass $\delta = 30^\circ$, so werden die Vergrößerungszahlen 240, 300, 360, 420 etc., wie sie bei stärkern Objectiven vorkommen, beziehungsweise die Helligkeiten $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{25}$, $\frac{1}{36}$, $\frac{1}{49}$ etc. ergeben. Steigern wir dagegen δ (nöthigenfalls



Figur 40.

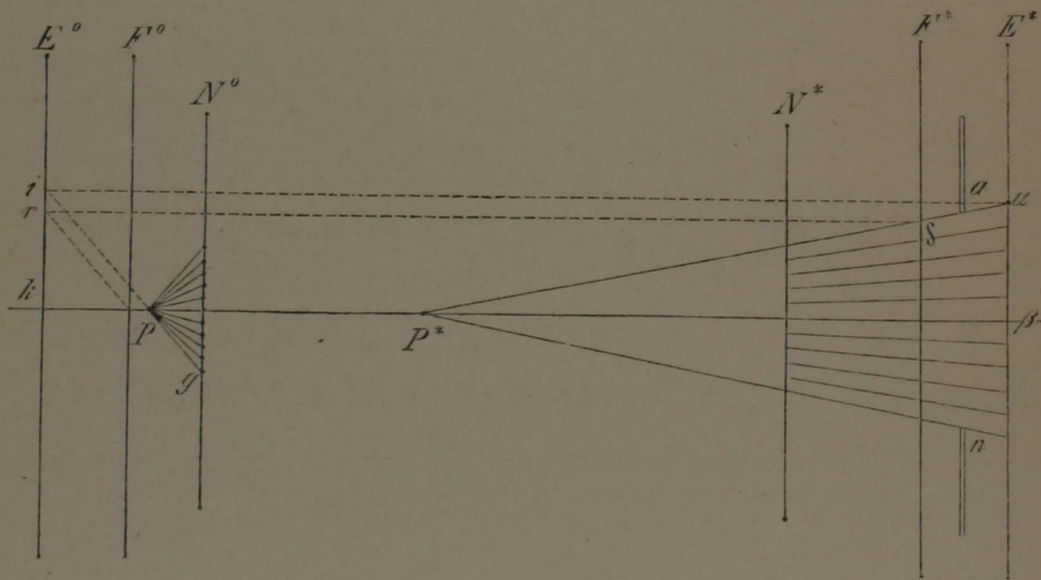
vermittelt eines Beleuchtungsapparates) auf das Doppelte und Dreifache des angenommenen Werthes, so erreicht die Lichtstärke — immer vorausgesetzt, dass ω wenigstens ebenso gross sei — beziehlich das Vier- und Neunfache obiger Brüche; diese erhalten daher bei gleichem Nenner die Zähler 4 und 9.

Für grössere Oeffnungswinkel ist nun allerdings der Ausdruck $v = \left(\frac{2\omega}{m}\right)^2$ nicht ganz correct. Die Lichtmengen der verschiedenen Strahlenkegel verhalten sich streng genommen nicht wie die Quadrate der bezeichneten Winkelgrössen, sondern wie die von den Strahlen getroffenen Stücke einer Kugelfläche, die man sich um die Kegelspitze beschrieben denkt, also wie die Flächeninhalte von Calotten. Denn es ist klar, dass ein selbstleuchtendes Flächenelement Strahlen nach allen Richtungen aussendet und folglich eine Kugelfläche, deren Centrum in die Lichtquelle selbst fällt, in allen Puncten gleichmässig beleuchtet. Es kommt also nur darauf an, wie viel von dieser Kugelfläche in einem gegebenen Falle zur Wirkung kommt; ein n mal so grosser Flächeninhalt der wirksamen Calotte entspricht stets auch einer n fachen Lichtmenge. Führt man die Rechnung für verschiedene Oeffnungen der einfallenden Strahlenkegel durch und wählt die Lichtmenge für $\omega = 1/2^\circ$ als Einheit, so ergeben sich beispielsweise die in folgender Zusammenstellung verzeichneten Werthe. Die vierte Columnne enthält überdiess die wirklichen Flächeninhalte für den Fall, dass die halbe Kugelfläche = 1,000,000 gesetzt wird; in der fünften sind die zugehörigen Tangentialflächen beigelegt.

Angenommene Objectivver- größerung.	Oeffnungs- winkel.	Entspre- chende Ca- lotte.	Calotten- fläche, wenn die halbe Kugel = 1,000,000.	Zugehörige Tangential- fläche.
—	0,50	1	9,5	—
—	10	4	38	—
—	20	16	152	—
—	50	100	952	953
—	100	400	3806	3827
10	200	1599	15192	15545
17	300	3586	34074	35000
30	400	6348	60307	66237
25	500	9862	93692	108721
33	600	14102	133975	166666
70	1000	37601	357215	710140
150	1200	52631	500000	1500000

Vergleicht man diese Calottenflächen mit den ungefähr entsprechenden, d. h. practisch herstellbaren Gesamtvergrößerungen, so ergibt sich wie oben eine allmälige Abnahme der Lichtstärke für die höhern Vergrößerungsziffern. Bei schwachen Objectiven scheint aber zugleich die Möglichkeit zu bestehen, dass ein Gegenstand, durch's Mikroskop betrachtet, heller beleuchtet erscheint, als beim Sehen mit blossem Auge. Denn angenommen, der in obiger Tabelle enthaltene Oeffnungswinkel von 30° entspreche einer Objectivvergrößerung von 17mal, was mit wirklich vorkommenden Fällen übereinstimmt, so erhält man bei c. 3maliger Ocularvergrößerung eine Bildfläche, welche $50^2 = 2500$ mal grösser ist als das Object, während die zur Beleuchtung dienende Lichtmenge c. 3500mal grösser ist als bei gewöhnlichem Sehen. Die Helligkeit würde hienach im Verhältniss von 35 zu 25 gesteigert werden. Allein es drängt sich uns jetzt die Frage auf, ob ein so weit geöffneter Lichtkegel aus der fraglichen Linsencombination hinlänglich verengt hervortrete, um von der Pupille des beobachtenden Auges aufgenommen zu werden; denn es ist klar, dass obige Schlussfolgerung im nicht zutreffenden Falle illusorisch wird.

Zur Prüfung dieser Frage construiren wir den Strahlengang im Mikroskop nach dem oben (pag. 33) erläuterten Schema (Fig. 44). Wenn auch die gewählten Abstände wegen Mangel an Raum mit den wirklichen Dimen-



Figur 44.

sionen nicht übereinstimmen, so sind doch die daraus abzuleitenden Ergebnisse allgemein gültig. Sei also P ein in der Axe gelegenes Flächenelement des Gesichtsfeldes, welches der vordern Grenzfläche N^0 des brechenden Systems den in der Figur angedeuteten Strahlenkegel zusendet. Es soll nun der entsprechende, aus der hintern Grenzfläche N^* hervortretende Strahlenkegel construirt werden. Wir verfolgen zu diesem Behufe

bloss den Randstrahl Pg , welcher die Grösse des Oeffnungswinkels bestimmt. Die Verlängerung desselben (hier nach rückwärts) trifft die vordere Hauptebene E^0 im Punkte i ; folglich schneidet die durch i gezogene Parallele mit der Axe die zweite Hauptebene E^* in einem Punkte α , welcher zugleich dem ausfahrenden Strahl angehört. Ziehen wir ferner durch den vordern Focus eine Linie parallel mit iP bis zur vordern Hauptebene und vom Durchschnittspunct r eine zweite Parallele zur Axe, so trifft diese letztere die hintere Focalebene F^* in einem Punkte ϱ , welcher ebenfalls dem ausfahrenden Strahl angehört und folglich die Richtung desselben bestimmt. Die Verlängerung der Linie $\alpha\varrho$ nach rückwärts giebt zugleich die Lage des virtuellen Bildpunctes in der Axe. Fügt man endlich noch den auf der andern Seite symmetrisch verlaufenden Randstrahl hinzu, so ist der ausfahrende Strahlenkegel offenbar vollständig bestimmt. Es fragt sich nun, welches ist das Verhältniss der beiden Oeffnungswinkel? Wie ein Blick auf die Figur zeigt, besitzt der einfallende Strahlenkegel eine Oeffnung $\omega = 2 \cdot \text{Winkel } iPk$, und der ausfahrende Strahlenkegel eine Oeffnung $\omega' = 2 \cdot \text{Winkel } \alpha P^* \beta$. Da nun $ik = \alpha\beta$, ferner kP gleich der vordern und βP^* gleich der hintern Vereinigungsweite, so hat man für die trigonometrischen Tangenten der beiden Winkel:

$$\text{tang } iPk = \frac{\alpha\beta}{p}; \quad \text{tang } \alpha P^* \beta = \frac{\alpha\beta}{p^*},$$

wobei p und p^* nach Früherem die beiden Vereinigungsweiten bezeichnen. Die Quadrate dieser Tangenten sind aber proportional den Querschnittsflächen der beiden Lichtkegel im Abstände 1 von der Spitze. Für diese Querschnittsflächen ergiebt sich demnach das Verhältniss $\frac{\alpha\beta^2}{p^2} : \frac{\alpha\beta^2}{(p^*)^2} = (p^*)^2 : p^2$; dasselbe Verhältniss bezeichnet aber auch die Flächenvergrösserung, weil $\frac{p^*}{p}$ gleich der linearen Vergrösserungszahl. Wir gelangen somit zu dem Schlusse, dass die Querschnittsflächen der correspondirenden Lichtkegel im Abstände 1 von der Spitze sich verhalten wie die Quadrate der linearen Vergrösserungszahlen. Füllt nun der ausfahrende Strahlenkegel die Pupillenöffnung an vollständig aus, wie in unserer Figur angenommen, so ist damit auch die Oeffnung des einfallenden bestimmt; denn sobald der letztere weiter geöffnet ist, als obiges Verhältniss es mit sich bringt, so wird der Querschnitt des ausfahrenden Kegels grösser als die Pupillenöffnung; der Ueberschuss der vom Objectiv aufgenommenen Lichtmenge bleibt demzufolge wirkungslos. Da nun die Querschnittsfläche des einfallenden Lichtkegels immer etwas (wenn auch bei kleiner Oeffnung verschwindend wenig) grösser ist, als die entsprechende Kugelcalotte bei gleichem Abstand von der Spitze, so gelangen wir zu dem Schluss, dass eine leuchtende Fläche durchs Mikroskop gesesehen unter keinen Umständen heller erscheinen kann, als mit blossem Auge gesehen.

Natürlich ist bei all diesen Berechnungen der Lichtstärke stillschweigend vorausgesetzt, dass die vom Objecte ausgehenden Lichtkegel ohne Verlust ins Auge gelangen. Die durch Reflexion und Absorption verursachten Verluste bleiben also unberücksichtigt. Wie viel diese letztern in einem gegebenen Falle betragen, lässt sich nicht leicht genau bestimmen; soviel aber ist sicher, dass sie bei schwachen und mittelstarken Vergrößerungen nur einen kleinen Bruchtheil der berechneten Lichtstärke ausmachen und folglich der Richtigkeit des mathematischen Ausdrucks nicht wesentlich Eintrag thun.*)

X.

Das optische Vermögen des Mikroskops.

Die Leistungsfähigkeit der Mikroskope steht bekanntlich mit der Ver- 75
größerungszahl keineswegs in einem proportionalen Verhältniss. Während die einen bestimmte Einzelheiten und Formverhältnisse eines gegebenen Objectes beispielsweise schon bei 400maliger Vergrößerung erkennen lassen, bedarf es bei andern einer 150—200maligen Vergrößerung, um dieselben zum Vorschein zu bringen. Dem entsprechend heben die stärksten Objective bei jenen noch Details hervor, welche bei diesen, gleiche Brennweiten vorausgesetzt, nicht mehr wahrnehmbar sind. Auf diese Differenzen gründet sich nun der Begriff, den man gewöhnlich als optisches Vermögen bezeichnet; er umfasst alle die Eigenschaften, welche die Schärfe und Klarheit des mikroskopischen Bildes bedingen. Ueber die Natur dieser Eigenschaften herrschen jedoch vielfach unklare Begriffe, die eine sorgfältige Sichtung erheischen und zum Theil auf ganz neuen Grundlagen formulirt werden müssen. Wir halten deshalb die verschiedenen Momente, welche hiebei in Betracht zu ziehen sind, streng auseinander.

*) Nach der oben (pag. 34) gegebenen Darstellung ist die Grösse des Oeffnungsbildes über dem Ocular bei gegebenen optischen Constanten nur von der Grösse der nutzbaren Objectivöffnung abhängig; sein Durchmesser d ist gegeben durch die Formel:

$$d = \frac{2 \sin \delta}{r} \cdot \text{Brennweite} ,$$

wobei δ den Winkel bezeichnet, unter welchem der halbe Durchmesser der Lichtquelle vom Focus des Mikroskops aus gesehen wird. Ist folglich bei gewöhnlichem Sehen die Pupillenöffnung ebenfalls gleich d , so haben die bilderzeugenden Strahlenkegel dieselbe Oeffnung, wie die aus dem Mikroskop zum Auge gelangenden. Mit Rücksicht hierauf kann man daher auch sagen: das Gesichtsfeld erscheint beim mikroskopischen Sehen gerade so hell, wie es dem blossen Auge erscheinen würde, wenn vor die Pupillenöffnung ein Diaphragma gestellt wäre, dessen freie Oeffnung congruent ist dem Bildchen der Lichtquelle über dem Ocular. Mit diesem Satze stimmt das von Abbe (Archiv f. mikr. Anat. IX, p. 438) aufgestellte Theorem im Wesentlichen überein.

1. Definirende und penetrirende Kraft nach frühern Autoren.

Die Mikrographen pflegen mit Bezug auf das optische Vermögen des Mikroskops zwei verschiedene Richtungen desselben zu unterscheiden, die sich bei der Prüfung der Instrumente in abweichender Weise kundgeben, nämlich die sogenannte definirende und die penetrirende Kraft, auch Definitions- und Unterscheidungsvermögen genannt. Man versteht unter definirender Kraft eines Mikroskops das Vermögen, Formen und Umrisse der Körper im Bilde scharf und bestimmt wieder zu geben, und unter penetrirender Kraft die Fähigkeit, feine Structurverhältnisse, wie die Schichten der Zellmembran, die Zeichnungen der Diatomaceenpanzer u. dgl., zur Wahrnehmung zu bringen. Diese Unterscheidung wurde zuerst von W. Herschel für die Teleskope aufgestellt und später von Goring auf die Mikroskope übertragen. Herschel machte nämlich darauf aufmerksam, dass Teleskope mit grösserer Oeffnung, auch wenn sie sonst fehlerhaft construirt seien, sich besonders dazu eignen, lichtschwache Nebelflecken und Sterngruppen sichtbar zu machen, die mit kleinern Instrumenten von der besten Art nicht zu unterscheiden sind; diese letztern werden dagegen leuchtende Punkte, die nur wenig von einander abstehen, wie z. B. die Doppelsterne, noch getrennt zeigen, während sie bei erstern in einen Lichtpunkt zusammenfliessen.

Die penetrirende Kraft oder das Durchdringungsvermögen steht hienach mit der Grösse der Oeffnung, die definirende Kraft oder das Begrenzungsvermögen mit der Genauigkeit der Construction, d. h. mit dem Grad der Verbesserung der beiden Aberrationen im Zusammenhang. Es ist auch an und für sich klar, dass jedes optische Instrument, wie auch jedes unbewaffnete Auge, um so schärfer begrenzte Bilder liefert, je näher die Vereinigungspunkte der verschiedenfarbigen und verschieden geneigten Strahlen auf der Netzhaut zusammenfallen; dass dagegen kleine Verschiedenheiten der Leuchtkraft lichtschwacher Objectpunkte um so augenfälliger werden, je grösser die Lichtmenge, welche von solchen Punkten zur Netzhaut gelangt. Darum eben sehen Thiere mit weit geöffneter Pupille bei Nacht besser als der Mensch und treten Gegenstände in dunkeln Räumen auch für das menschliche Auge in dem Maasse deutlicher hervor, als die Pupille sich allmählig erweitert.

Die Unterscheidung der definirenden und penetrirenden Kraft, wie sie Herschel für die Teleskope aufstellte, ist also ganz allgemein für jeden optischen Apparat, das unbewaffnete Auge nicht ausgenommen, vollkommen begründet. Nur vergesse man nicht, dass die penetrirende Kraft eigentlich mit der Oeffnung der vom Objecte ausgehenden und zum Auge gelangenden Lichtkegel, nicht mit derjenigen des brechenden Apparats zu- und abnimmt. Es versteht sich von selbst, dass, wenn die einfallenden

Lichtbündel die Oeffnung des Objectivs nur theilweise ausfüllen, die absolute Grösse des unausgefüllten Theils völlig gleichgültig ist.

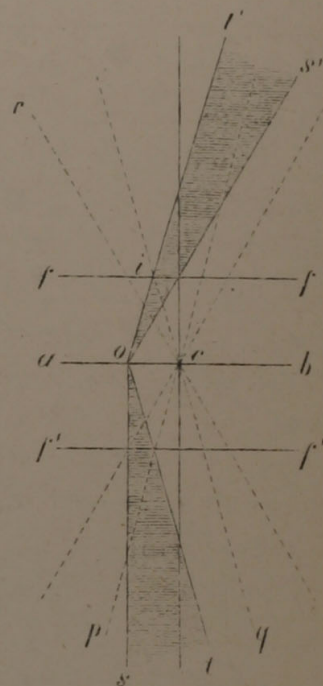
Untersuchen wir nun, ob und in welchem Sinne der Begriff der penetrirenden Kraft, wie er im Vorhergehenden festgestellt wurde, sich auf das Mikroskop übertragen lasse, und ob die Eigenschaften, die man mit obigem Ausdrucke zu bezeichnen pflegt, wirklich dem nämlichen Begriff entsprechen. Bei Teleskopen füllen natürlich die Lichtkegel, welche von den (meist selbstleuchtenden) Objectpuncten ausgehen, die Oeffnung des Objectivs vollständig aus. Eine Erweiterung dieser letztern wirkt also wie für das unbewaffnete Auge die Erweiterung der Pupille. Das eine wie das andere hat aber nur dann einen Werth, wenn das von den Objecten ausgehende Licht sehr schwach ist, wird dagegen in allen Fällen, wo die Leuchtkraft derselben eher zu gross als zu klein ist, sogar einen störenden Einfluss üben, da Apparate mit grösserer Oeffnung gewöhnlich auch mit stärkern Aberrationen behaftet sind. Da nun bei der mikroskopischen Beobachtung eine beliebige Steigerung der Beleuchtung möglich ist — man könnte ja nöthigenfalls directes Sonnenlicht dazu verwenden — so kann die grössere Oeffnung des Objectivs von diesem Gesichtspunkte aus ganz und gar nicht in Betracht kommen. Bekanntlich sind denn auch die Blendungen der Beleuchtungsapparate so klein, dass die nach den Puncten der Einstellungsebene convergirenden Strahlen meist nur Kegel von c. 20—30 Grad Oeffnung bilden. Diese nämlichen Strahlen gruppiren sich aber, nachdem sie im Object eine Ablenkung erfahren, abermals in Lichtkegel, welche von den einzelnen Objectpuncten zu kommen scheinen und im Mikroskop deren Bild entwerfen. Die Oeffnung dieser Lichtkegel ist im Maximum, je nach der Stärke der Ablenkung, etwas grösser oder kleiner als die der einfallenden; die Differenzen sind aber so klein, dass sie für unsere Betrachtung vernachlässigt werden dürfen. Die zum Objectiv gelangenden Lichtkegel füllen also die Oeffnung desselben, wenn wir diese beispielsweise zu 60—80° annehmen, jedenfalls nur theilweise aus; sie sind unter den gegebenen Verhältnissen von der Grösse dieser Oeffnung durchaus unabhängig. Dadurch verliert aber die von Goring u. A. gezogene Parallele zwischen Teleskop und Mikroskop ihre Berechtigung. Was man bei dem letztern penetrirende Kraft genannt hat, nämlich die Fähigkeit, feine Structurverhältnisse, Strichelchen, Pünctchen etc. zur Wahrnehmung zu bringen, ist auch in der That, wie schon Harting mit Recht hervorgehoben, etwas ganz anderes, als das raumdurchdringende Vermögen der Teleskope. Man würde, wenn man durchaus an der Parallele festhalten wollte, das Unterscheidungsvermögen der Mikroskope richtiger mit der Eigenschaft der Fernröhre vergleichen, Doppelsterne in getrennte Puncte aufzulösen.

2. Die Bedeutung des Oeffnungswinkels.

77 Es kann sich jetzt nur noch um die Frage handeln, in welcher Weise, da doch die einfallenden Lichtkegel vom Oeffnungswinkel des Objectivs unabhängig sind, dennoch die Grösse dieses Winkels auf das mikroskopische Bild Einfluss übe. Man könnte zunächst auf die Vermuthung kommen, die Wirkung der grössern Oeffnung beruhe vielleicht auf einer günstigeren Vertheilung von Licht und Schatten, da es eine bekannte Thatsache ist, dass Oeltropfen, Stärkekörner u. dgl. bei schwächerer Vergrösserung einen starken Randschatten werfen, während derselbe bei Anwendung stärkerer Objective mit grösserem Oeffnungswinkel verschwindet. Es liesse sich nun denken, dass durch grössere Ausbreitung der Lichtpartieen gewissermaassen ein Gleichgewicht zwischen Hell und Dunkel hergestellt würde, in dem Sinne, dass z. B. bei gestreiften Objecten Schatten- und Lichtlinien nahezu gleiche Breite erhielten und in Folge dessen auch leichter zu unterscheiden wären. Allein eine solche Erklärung ist aus zwei Gründen nicht stichhaltig. Einmal giebt es Probeobjecte genug, wo die Lichtpartieen im Bilde ein solches Uebergewicht haben, dass eine Verkleinerung derselben nur vortheilhaft wirken müsste, und doch ist ihre Auflösung nur durch Objective mit grossem Oeffnungswinkel möglich. Sodann hängt, wie später ausführlicher gezeigt werden soll, die Vertheilung von Licht und Schatten nicht allein vom Objectiv, sondern auch von der Grösse der Blendung ab. Der Ablenkungswinkel der Strahlen, welche den Grenzpunkten des Kern- und Halbschattens entsprechen, wird stets durch Formeln bestimmt, in welchen die beiden Oeffnungswinkel ω und δ nur als Summe oder als Differenz auftreten, und wenn nun auch die Grenzpunkte selbst dadurch noch nicht mathematisch gegeben sind, so ist doch ihre Lage nahezu dieselbe, wie wenn die Brechung durch eine aequivalente, unendlich dünne Linse im Niveau des Objectes stattfände. Jedenfalls ist es für unsere Betrachtung erlaubt, an die Stelle der brechenden Flächenelemente einer Membran, z. B. einer Diatomaceenschale, eine solche Linse zu substituiren, ohne dadurch die Richtigkeit der Schlüsse irgendwie zu beeinträchtigen. Alsdann ist es aber für die Theorie vollkommen gleichgültig, ob man mit einem Objectiv von 60° eine Blendung von 30° , oder umgekehrt ein Objectiv von 30° mit einer Blendung von 60° Oeffnung combinire. Das Bild müsste in beiden Fällen bis auf unmerkliche Differenzen dasselbe sein.

Wir wollen diese Folgerung noch durch eine Figur veranschaulichen. Sei ab (Fig. 42) die aequivalente Linse, c ihr Mittelpunkt und ff' , $f'f'$ ihre beiderseitigen Hauptbrennebenen, welche folglich die durch c gehende Senkrechte in den Hauptbrennpunkten schneiden, ferner $rcv = 60^\circ$ der Oeffnungswinkel des Objectivs und $pcq = 30^\circ$ der Oeffnungswinkel der

Blendung. Dann lässt sich der Gang der Strahlen nach den in der Einleitung mitgetheilten Principien leicht bestimmen. Der durch den Brennpunct parallel mit vc gezogene Strahl verläuft nach der Brechung parallel mit der Axe; der von unten parallel mit qc einfallende Strahl wird so gebrochen, dass er die obere Brennebene mit der Verlängerung von qc in demselben Puncte schneidet. Dadurch sind die Randstrahlen der zur Beleuchtung des Punctes o beitragenden Lichtkegel, des einfallenden und ausfallenden, bestimmt. Alle Strahlen, welche nach rechts oder links stärker abweichen als die gezeichneten, treffen entweder auf den Rand der Blendung oder auf denjenigen des Objectes. Eben so leicht lassen sich die wirklichen Lichtkegel für beliebige andere Puncte construiren. Der Grenzpunkt des Kernschattens ist z. B. durch eine Linie bestimmt, welche parallel mit vc durch i gezogen wird.



Figur 42.

Denkt man sich nun die Figur um 180° gedreht, so dass das, was jetzt oben ist, unten zu stehen kommt, so giebt dieselbe Construction, wie leicht einzusehen, den Strahlenverlauf für den Fall, dass die Blendung 60° und das Objectiv nur 30° Oeffnung besitzt. Die Grenzlinien zwischen Licht und Schatten bleiben dabei selbstverständlich nach wie vor dieselben, und wenn die vom Objecte ausgehenden Lichtkegel nach der Brechung im Objectiv homocentrisch bleiben, was wir natürlich für beide Fälle annehmen, so ist kein Grund vorhanden, welcher irgend eine merkliche Aenderung, sei es der Schärfe oder der Lichtstärke etc., im Bilde erklären könnte. Es ist demnach vollkommen richtig, dass die Grösse des Oeffnungswinkels bei Objectiven, in Bezug auf ihre dioptrische Leistung, nicht mehr und nicht weniger zu bedeuten hat, als die Grösse der Blendungsöffnung. Die Vorzüge, welche jener voraus hat, — so schliessen wir weiter — sind daher entweder rein practischer Natur, oder sie rühren von Umständen her, welche mit der dioptrischen Bilderzeugung in keinem Zusammenhang stehen.

Um zunächst die Möglichkeiten nach der practischen Seite hin festzu- 78
stellen, verweisen wir noch einmal auf die in Fig. 42 gegebene Construction des Strahlenganges. Ist $t'os'$ der vom Object ausgehende Lichtkegel, so treffen seine Randstrahlen, und also auch alle übrigen, den peripherischen Theil des Objectivs; das Centrum des letztern geht leer aus. Kehrt man dagegen die Figur um und betrachtet sot als den vom Objecte kommenden Lichtkegel, so sind hier alle Neigungen von 0° bis 45° vertreten; derselbe füllt also die halbe Oeffnung des Objectivs aus. Wenn folglich ein Objectiv

mit grossem Oeffnungswinkel für Centralstrahlen bis zu 45° Neigung und darüber weniger aplanatisch ist, als für Randstrahlen von c. 45° — 60° , was thatsächlich vorkommt, so ist die Neigung des einfallenden Strahlenkegels von wesentlichem Einfluss auf die Deutlichkeit des Bildes. Und wenn der Optiker möglicher Weise die Aberrationen für schief auffallende Lichtkegel, welche bloss den Rand des Objectivs treffen, ganz allgemein leichter zu beseitigen im Stande ist als für gerade, so verdient der grössere Oeffnungswinkel schon deshalb entschieden den Vorzug.

Es giebt indessen, wie Abbe gezeigt hat, noch ein zweites Moment von ungleich grösserer Tragweite und durchgreifender Bedeutung, auf welches die Grösse des Oeffnungswinkels einen mathematisch nachweisbaren und experimentell festgestellten Einfluss übt. Hier handelt es sich nicht bloss um ein Correctiv gegen zufällige Unvollkommenheiten der Construction, sondern um eine spezifische Function des Oeffnungswinkels mit Bezug auf die in der Objectebene abgelenkten und in der obern Focalebene (oder in deren Nähe) interferirenden Strahlen, von denen sich darthun lässt, dass sie allein die feinen Structurverhältnisse des Objects, wie z. B. die Streifen der Diatomeen u. dgl., im mikroskopischen Bilde zur Wahrnehmung bringen.

Die Theorie dieser Bilderzeugung durch Interferenz soll weiterhin, im Anschluss an die optischen Wirkungen der Objecte, dargelegt werden. Hier beschränken wir uns auf die Hervorhebung einiger Thatsachen, welche die Bedeutung des Oeffnungswinkels für die Abbildung feiner Structuren ausser Zweifel stellen. Diese Thatsachen sind das Ergebniss sorgfältiger Vergleichen, welche Abbe an einer Reihe möglichst correct gearbeiteter Objective mit verschiedenen Brennweiten und Oeffnungswinkeln anstellte, indem er ihre Leistungsfähigkeit mittelst verschiedenartiger Probeobjecte, darunter auch feine Liniensysteme in verschwindend dünnen Silberschichten, sowie mit gröberem und feinerem Pulver etc. auf die Probe stellte. Dabei ergab sich:

1) So lange die freie Oeffnung des Objectivs so gross bleibt, dass ihre Diffractionswirkung die Schärfe des Bildes nicht merklich beeinträchtigt, ist die Grösse des Oeffnungswinkels ohne Einfluss auf die Abbildung der Contouren mikroskopischer Objecte, d. h. der Grenzen zwischen ungleich durchsichtigen Theilen im Gesichtsfeld, wofern diese Theile nicht unter c. 40 Mik. herabgehen.

2) Sobald dagegen die Objecte in ihren Details die bezeichnete Grenze der Kleinheit überschreiten, tritt ein merklicher Unterschied zu Gunsten des grössern Oeffnungswinkels constant hervor. Dabei ist es gleichgültig, ob die fraglichen Details durch Unebenheiten der Oberfläche oder durch Unterschiede in der Dichtigkeit oder Durchsichtigkeit der Substanz bedingt sind.

3) Je kleiner die linearen Dimensionen, welche das betreffende Detail

besitzt, desto grösser muss der Oeffnungswinkel des Objectivs sein, wenn jenes bei einer bestimmten Art der Beleuchtung, z. B. bei rein centraler oder bei möglichst schiefer, wahrgenommen werden soll, und zwar unabhängig von der grössern oder geringern Markirtheit der Zeichnung und unabhängig von der Brennweite und der förderlichen Vergrösserung des Objectivs.

4) Wo das Detail an wirklichen Objecten in Form von Streifungen, Liniensystemen u. dgl. erscheint, erreicht ein und derselbe Oeffnungswinkel bei schieferm Lichteinfall constant merklich feineres Detail als bei centraler Beleuchtung, und zwar ganz unabhängig davon, ob die Beschaffenheit der Objecte die Möglichkeit von Schatteneffecten zulässt oder vollständig ausschliesst.

5) Eine Structur der gedachten Art, welche ein bestimmtes Objectiv bei gerader Beleuchtung nicht wahrnehmbar macht, wird auch nicht wahrnehmbar, wenn man das Object unter beliebigem Winkel gegen die Axe des Mikroskops neigt, selbst wenn dasselbe, senkrecht zur Axe liegend, durch schiefes Licht vollkommen aufgelöst würde. Die Auflösung tritt aber sofort ein, wenn gleichzeitig der einfallende Lichtkegel senkrecht gegen die Ebene des Objects gerichtet wird. Demnach hängt die Steigerung der Wirkung unter schiefer Beleuchtung ausschliesslich von der Neigung der Strahlen gegen die Mikroskopaxe, aber nicht von ihrem schiefen Einfall auf das Object ab.

Der Oeffnungswinkel repräsentirt nach alledem ein spezifisches Vermögen, welches von den sonstigen Eigenschaften des Objectivs und von der Vergrösserungskraft unabhängig ist, — das Vermögen, feinere Details der Zeichnung, welche bei geringer Neigung der einfallenden Strahlen unsichtbar bleiben, im mikroskopischen Bilde zur Wahrnehmung zu bringen. Man kann dasselbe, in Uebereinstimmung mit dem Wortsinne der üblichen Benennung, als Unterscheidungs- oder Auflösungsvermögen bezeichnen. Auf der andern Seite aber weisen die oben angeführten That-sachen ebenso unzweideutig darauf hin, dass die dioptrische Wiedervereinigung der vom Objecte ausgehenden Lichtbüschel in einer Bildfläche die Abbildung sehr feiner Structurverhältnisse nicht erklärt, sondern dass hier nothwendig Momente in Betracht kommen, welche ausserhalb des Mikroskops zu suchen sind. Wie bereits angedeutet, ist es die Diffraction (oder eine aequivalente Ablenkung durch Brechung oder Reflexion) des Lichtes im Object, welche die bilderzeugenden Strahlen für die feinem körperlichen Details liefert. Diese abgelenkten Strahlen erzeugen schon in der obern Focalebene des Objectivs, wo sie interferiren, deutliche Beugungs- oder Interferenzbilder und bleiben fortan bei der mikroskopischen Bilderzeugung, also auch beim schliesslichen virtuellen Bilde mitbetheiligt. Blendet man diese Interferenzbilder ab oder ist der Oeffnungswinkel des Objectivs zu klein, um neben dem ungebeugten Licht wenigstens den ersten

durch Beugung erzeugten Lichtbüschel aufzunehmen, so verschwinden die entsprechenden Details im mikroskopischen Bilde: eine Pleurosigmaschale zeigt weder Felder noch Linien, und feine Theilungen auf Glas erscheinen als homogene Flächenstreifen.

Die Bedeutung des Oeffnungswinkels liegt also darin, dass er das Zustandekommen des Interferenzbildes ermöglicht, in welchem allein die feinern Details enthalten sind.*)

3. Die Verschmelzung des Interferenzbildes mit dem dioptrischen.

Wenn das optische Vermögen des Mikroskops sich auf zwei in wesentlich verschiedener Weise erzeugte Bilder vertheilt, von denen das eine die definirende, das andere die auflösende Kraft repräsentirt, so hängt die Gesamtleistung voraussichtlich nicht bloss von der Vollkommenheit jedes einzelnen Bildes, für sich allein betrachtet, sondern auch von der correcten Superposition des einen auf das andere ab. Da nun die abgebeugten Strahlen wegen ihrer Neigung zur Mikroskopaxe bei gerader Beleuchtung die Randpartieen des Objectivs treffen, indess die übrigen je nach der Ablenkung im Object theils den mittlern, theils ebenfalls den peripherischen Theil in Anspruch nehmen, so folgt daraus, dass eine fehlerfreie Superposition der beiden Bilder nur möglich ist, wenn das Objectiv in der ganzen Ausdehnung seiner freien Oeffnung gleichmässig aberrationsfrei ist. Dasselbe gilt natürlich auch für schiefe Beleuchtung, gewissermaassen sogar in verschärftem Grade, da hier auch die gebeugten Strahlen den mittlern Theil des Objectivs treffen können. Kann dieser Bedingung nicht Genüge geleistet werden oder ist das Objectiv sogar

*) Unsere frühern Erörterungen über diese Frage fussten nicht etwa, wie Harting (Mikr. 2. Aufl. I, p. 278) gefunden haben will, auf der von der seinigen abweichenden Ansicht in Betreff der Beleuchtung, sondern einzig und allein auf der bis dahin als richtig anerkannten Voraussetzung, dass das mikroskopische Bild ein dioptrisches sei. Soweit diess der Fall, ist der damals aufgestellte Satz, dass das Mikroskop, abgesehen von der Lichtstärke und der Vergrösserungsziffer, keine andere Kraft entwickle als diejenige, welche mit der Verbesserung der beiden Aberrationen gleichen Schritt hält, heute noch richtig, und dasselbe gilt im Allgemeinen auch von den hieraus abgeleiteten Schlüssen. Durch den Nachweis jedoch, dass die Diffractionerscheinungen bei der Bilderzeugung eine so hervorragende Rolle spielen, ist allerdings die Sachlage in dieser, wie in so mancher einschlägigen Frage eine wesentlich andere geworden, und es hätte gegenwärtig keinen Werth, Betrachtungen zu wiederholen, welche nach der neuen Auffassung der Dinge doch nur eine sehr untergeordnete practische Bedeutung haben können.

Dagegen mag es nicht ganz überflüssig sein, hier nochmals zu betonen, dass bis dahin keines der uns bekannten mikrographischen Werke den Einfluss des Oeffnungswinkels auch nur als Thatsache wissenschaftlich constatirt, geschweige denn erklärt hat. Auch in der inzwischen erschienenen zweiten Auflage von Harting's Mikroskop haben wir uns vergeblich nach entscheidenden Experimenten umgesehen; der Versuch mit den zwei Mikroskopen (p. 276 unten) beweist zunächst offenbar nur, dass im gegebenen Fall die Randzone des Objectivs den Ausschlag giebt. Ueberhaupt war die ganze Lehre vom Einfluss des Oeffnungswinkels, von Goring bis auf unsere Zeit, einer festen wissenschaftlichen Basis vollständig baar, und es ist das Verdienst Abbe's, diese Lücke durch seine klaren und gründlichen Darlegungen ausgefüllt zu haben.

mit groben Constructionsfehlern behaftet, so ist eine confocale Vereinigung der vom nämlichen Punkte ausgehenden gebeugten und nicht gebeugten Strahlen im schliesslichen Gesamtbilde unmöglich. Es kann alsdann vorkommen, dass das Beugungsbild in einem andern Niveau zu Stande kommt als das dioptrische, ja sogar seitlich gegen dasselbe verschoben erscheint, und dass Streifensysteme, welche am Object in der nämlichen Ebene liegen, im Bilde nur bei verschiedener Einstellung gesehen werden.

Neben diesen Sätzen von allgemeiner Bedeutung mögen nachträglich noch einige spezielle Bemerkungen über bestimmte Fälle am Platze sein. Man ist gewohnt, die Leistungsfähigkeit eines Objectivs mehr als billig nach seinem Auflösungsvermögen bei schiefer Beleuchtung zu beurtheilen; daher denn auch das Bestreben der Optiker, den Oeffnungswinkel der Objective möglichst zu steigern und die ganze Construction so zu sagen bestimmten Probeobjecten anzupassen. Die Einseitigkeit eines solchen Verfahrens leuchtet jedoch bei näherer Betrachtung sofort ein. Denn offenbar liegt die Grenze des Unterscheidungsvermögens für ein gegebenes Objectiv in solchen Details, von welchen ausser den directen Strahlen unter den günstigsten Umständen eben noch der erste abgebeugte Lichtbüschel ins Objectiv eintreten kann. Die beiden wirksamen Lichtkegel streifen also in zwei diametral opponirten Punkten den Rand des Objectivs, der direct durchgehende auf der dem Spiegel entgegengesetzten, der durch Beugung abgelenkte auf der nämlichen Seite, von welcher das Licht einfällt; der ganze mittlere Theil der Oeffnung kommt gar nicht in Betracht. Sofern also das Objectiv für die betreffende schmale Randzone keine störenden Aberrationen zeigt — was nach Früherem durch blosse Veränderung der Linsenabstände auch bei sonst fehlerhafter Construction erreichbar ist — so müssen die beiden Bilder sich nothwendig decken; die Leistung des Objectivs wird folglich in diesem speziellen Falle eine befriedigende, ja möglicher Weise eine sehr günstige sein. Sie besagt aber weiter nichts, als dass der Oeffnungswinkel gross genug ist, um wenigstens zwei der für die Bilderzeugung maassgebenden Lichtbüschel, einen gebeugten und einen ungebeugten, aufnehmen zu können und dass die Construction des Objectivs zum Mindesten die Möglichkeit gewährt, eine schmale peripherische Zone hinlänglich zu corrigiren. Der Beobachter lernt auf diesem Wege bloss die Unterscheidungsgrenze kennen, nicht das Unterscheidungsvermögen für die in der Praxis gewöhnlichen Fälle.

Aehnlich verhält es sich mit der Bilderzeugung bei gerader Beleuchtung. Zwar setzen hier die directen Strahlen unter Umständen nicht bloss die Mitte, sondern sehr verschieden gelegene Theile des Objectivs in Thätigkeit; aber die abgebeugten Lichtbüschel, welche die Details des Objectes an der Grenze des Unterscheidungsvermögens wiedergeben, streifen abermals den Rand der freien Oeffnung und liefern daher, sofern die betreffende Randzone ausreichend corrigirt ist, ein deutliches Diffractionsbild. Wenn

nun auch das dioptrische Bild nichts weniger als scharf und die Deckung beider sehr mangelhaft ausfällt, so bleibt doch selbstverständlich die Abbildung der feinen Structurverhältnisse hiervon unberührt, und der oberflächliche Kenner, der gerade auf diese das entscheidende Gewicht legt, wird die Leistungsfähigkeit des Objectivs unbedingt günstig beurtheilen.

Auf Grund dieser speziellen Fälle gelangen wir demnach wiederum zu dem Resultat, dass eine correcte Verschmelzung des Beugungsbildes mit dem dioptrischen, verbunden mit ausreichender Schärfe der Abbildung nur möglich wird, wenn das Objectiv in seiner ganzen Ausdehnung gleichmässig aplanatisch ist.

4. Ueber das Verhältniss zwischen Brennweite und Oeffnungswinkel.

- 79** – Die Erwägung der Thatsache, dass die Vergrößerungsziffer eines Mikroskops von seiner Brennweite, der Durchmesser der eben noch wahrnehmbaren Details im mikroskopischen Bilde dagegen einzig und allein vom Oeffnungswinkel abhängig ist, führt nothwendig zu dem Schluss, dass diese beiden, für das Sichtbarmachen des räumlich kleinen gleich unentbehrlichen Factoren in einem bestimmten arithmetischen Verhältniss zu einander stehen müssen, wenn ihr Zusammenwirken ein harmonisches sein soll. Hat z. B. der Oeffnungswinkel des Mikroskops eine solche Grösse, dass die Abbildung feiner Linien von 1 Mik. gegenseitigem Abstand eben noch möglich ist, so wäre es offenbar ein fruchtloses Bemühen, die Vergrößerung weit über das Maass hinaus zu verstärken, welches erfahrungsgemäss zur Beobachtung solcher Details vollständig ausreicht. Ebenso müsste auch die Wahl einer zu schwachen Vergrößerung als Fehlgriff bezeichnet werden, weil alsdann der Ueberschuss an auflösender Kraft, welcher dem Oeffnungswinkel zukommt, für das menschliche Auge vollständig verloren geht. Das Missverhältniss zwischen Brennweite und Oeffnungswinkel bedingt also in einem Fall eine nutzlose Vergrößerungskraft, die im Bilde nichts vorfindet, was ihrer bedürfte, im andern Fall ein nutzloses Unterscheidungsvermögen, welches noch Details abbildet, die man doch nicht sehen kann.

In welcher Weise nun aber das Gleichgewicht zwischen den beiden Factoren in der Praxis herzustellen sei, d. h. welche Ziffern für Brennweite und Oeffnungswinkel sich paarweise entsprechen, das lässt sich schon wegen der Ungleichheit der Constructionen nicht ein für allemal mit mathematischer Bestimmtheit ermitteln. Von einer tabellarischen Zusammenstellung entsprechender Grössen kann deshalb an dieser Stelle nicht die Rede sein. Wir müssen uns darauf beschränken, an einem passenden Beispiel die Gesichtspunkte hervorzuheben, welche unter bestimmten Voraussetzungen für die Construction maassgebend sind. Gehen wir zu diesem Behufe von der Annahme aus, der Oeffnungswinkel eines Trockensystems

dürfe, wie Abbe angiebt, die Grösse von 110^0 nicht übersteigen *). Als-
dann ist mit dieser Ziffer zugleich die Unterscheidungsgrenze arithmetisch
bestimmt, und zwar beträgt, wie weiterhin gezeigt werden soll, der Ab-
stand d der kleinsten Details, deren Abbildung bei extrem-schiefer Beleuch-
tung eben noch möglich ist, c. 0,3 Mik.**) Um nun solche Details für unser
Auge zur Wahrnehmung zu bringen, ist es nothwendig, dieselben bis auf
c. 120 Mik. Abstand zu vergrössern, und um sie bequem beobachten zu
können, dürfte eine Steigerung dieser Zahlen bis auf 480 oder selbst
210 Mik. nicht zu hoch gegriffen sein.***) Hiernach ergibt sich für das
Erkennen eine fehlerfreie Vergrösserung von 400 und für das bequeme
Beobachten eine solche von 6—700 Mal. Die Correctionsmängel des In-
struments drücken diese Ziffern noch etwas höher hinauf, sagen wir bei-
spielsweise auf 500 und 800, was jedenfalls eine gute Construction voraus-
setzt. Wir nehmen nun an, das Erkennen geschehe bei schwacher
Ocularvergrösserung, die wir willkürlich zu 4 ansetzen; dem Objectiv fällt
alsdann noch eine Vergrösserung von $\frac{500}{4} = 125$ zu. Für die Brennweite
desselben ergibt sich somit nach der Formel $f = \frac{p^*}{m + 1}$, wenn $p^* = 190^{\text{mm}}$,
 $\frac{190}{125} = 1,5^{\text{mm}}$. Sollte eine etwas stärkere Ocularvergrösserung, z. B. eine
5malige zulässig sein, so würde die Vergrösserungsziffer des Objectivs = 100
und seine Brennweite = $1,9^{\text{mm}}$. In beiden Fällen könnte die weitere
Flächenausbreitung des Bildes behufs bequemer Beobachtung durch starke
Oculare geschehen.

In gleicher Weise ergibt sich für ein Immersionssystem, dessen Oeff-
nungswinkel = 480^0 in Luft, als absolute Unterscheidungsgrenze eine halbe
Wellenlänge oder 0,28 Mik. Die für das Sichtbarmachen solcher Details

*) Von der absoluten Richtigkeit dieser Angabe sind wir übrigens nicht überzeugt.
Dieselbe stützt sich nämlich auf die Voraussetzung, dass die Krümmung der Linsen-
flächen eine genau sphärische sei. Von practischen Optikern wird uns indessen mitge-
theilt, dass es möglich sei, beim Schleifen der Linsen einer mittlern Zone zwischen
Centrum und Peripherie eine etwas schwächere Krümmung zu geben, als die genaue
Kugelform dies bedingen würde. Natürlich wird dadurch eine Vergrösserung des Oeff-
nungswinkels zulässig.

**) Der Neigungswinkel der zur Beleuchtung dienenden Strahlen wurde hiebei
zu 80^0 angenommen (für gewöhnlich zu hoch gegriffen) und der halbe Oeffnungswinkel
nach Obigem = 55^0 gesetzt. Es besteht alsdann die Beziehung:

$$d = \frac{1 \text{ Wellenlänge}}{\sin 80^0 + \sin 55^0}.$$

***) Diese Zahlen fallen je nach der Schärfe der Zeichnung grösser oder kleiner aus.
Man kann z. B. mit blossen Auge die Theilstriche eines Ocularmikrometers, obschon
ihr Abstand bloss $0,1^{\text{mm}}$ beträgt, bei günstiger Beleuchtung deutlich erkennen; allein
bei dioptrischen oder Interferenzbildern ist in der Regel ein merklich grösserer Abstand
der Details (oft bis zu 150 Mik.) nothwendig, wenn dieselben deutlich erkennbar sein
sollen. Auch ist in manchen Fällen für das bequeme Beobachten eine mindestens dop-
pelt so starke Vergrösserung zweckdienlich; letztere würde sich alsdann auf 1000 be-
ziffern.

erforderliche fehlerfreie Vergrößerung beziffert sich also in runder Zahl auf 430, welche Ziffer wegen der Correctionsmängel, die bei dem gegenwärtigen Stande der Technik unvermeidlich sind, mindestens auf 600—700 zu erhöhen ist. Bei viermaliger Ocularvergrößerung erhält man folglich für das Objectiv eine Vergrößerungsziffer $m = 150 - 175$, woraus f unter den oben bezeichneten Voraussetzungen sich auf die immer noch ansehnliche Grösse von $1,26 - 1,09$ Millimeter berechnet. Und selbst wenn die Gesamtvergrößerung auf 800 veranschlagt wird, was unbedingt ausreichen soll, sinkt die Brennweite doch nicht merklich unter 4^{mm} herunter. Wir schliessen hieraus, dass Objective von $\frac{1}{50}''$ u. dgl. keinen andern Vorzug besitzen können, als den sehr zweifelhaften einer nutzlosen Vergrößerung. Ebenso glauben wir nicht zu irren, wenn wir jede Gesamtvergrößerung, welche die Zahl 4500—2000 übersteigt, für den wissenschaftlichen Gebrauch als werthlos bezeichnen.

XI.

Die Diffractionswirkung der Linsenöffnung.

80 Betrachtet man einen leuchtenden Punct, etwa den Sonnenreflex auf einer Thermometerkugel, durch eine kleine Oeffnung, beispielsweise von c. 0,5 Millimeter (Nadelstich durch ein Kartenblatt), so erscheint derselbe bekanntlich als helle Kreisscheibe, umgeben von abwechselnd hellen und dunkeln Ringen. Denken wir uns also statt eines leuchtenden Punctes eine helle Bildfläche mit feiner Zeichnung, so werden die Diffractionsfiguren der benachbarten Lichtpuncte in ähnlicher Weise übereinander greifen, wie die Zerstreuungskreise im dioptrischen Bilde nicht aplanatischer Linsensysteme. Die Wirkung ist daher nothwendig dieselbe; in beiden Fällen verschwinden die feinen Details und die Zeichnung sieht matt und verwaschen aus.

Eine ähnliche Diffractionswirkung findet nun auch statt bei stärkeren Objectivsystemen, deren lichte Oeffnung bekanntlich mit der Brennweite mehr und mehr abnimmt. Diese Wirkung ist von den sonstigen Mängeln der Construction vollkommen unabhängig; sie tritt mit gleicher Nothwendigkeit bei möglichst aberrationsfreien, wie bei fehlerhaft construirten Objectiven hervor und erreicht bei den stärksten Systemen bereits eine solche Höhe, dass jede weitere Steigerung der Vergrößerungsziffer vollständig nutzlos erscheinen muss.

81 Das absolute Maass dieser Störungen ist theoretisch bestimmbar.*) Es

*) Helmholtz in Pogg. Ann. Jubelband p. 557 und speciell p. 579 ff. — Eine all-

lässt sich beweisen, dass ihr Einfluss der Grösse des letzten Oeffnungsbildes über dem Ocular umgekehrt proportional ist und sich überhaupt in allen Stücken genau so gestaltet, wie wenn das vom Beugungseffect frei gedachte mikroskopische Bild durch eine kleine Oeffnung von der Grösse des genannten Oeffnungsbildes betrachtet würde. Nach Früherem ist nun aber der Durchmesser d des letztern gegeben durch die Formel:

$$d = 2 \frac{\sin \delta}{r} \cdot f ,$$

wo δ den halben Oeffnungswinkel und f die Gesamtbrennweite des Mikroskops bezeichnet. Für $\delta = 180^\circ$ wird demnach $d = 2f$, oder wenn statt f die Vergrößerungsziffer m für eine Sehweite von 250^{mm} gesetzt wird: $d = 2 \cdot \frac{250}{m}$.*) Bei einer Gesamtvergrößerung $m = 1000$ wird also $d = 0,5^{\text{mm}}$ und für $m = 5000$ noch $0,1^{\text{mm}}$. Will man nun wissen, wie in diesem letztern Falle die Diffractionswirkungen sich ausnehmen, so mache man mit der Nadel eine Oeffnung von c. $0,1$ Mill. in ein Stanniolblättchen und betrachte durch dieses Diaphragma beliebige scharf begrenzte Lichtpunkte, etwa ein Drahtnetz, das man gegen das Licht hält, oder eine Kerzenflamme u. dgl.; man kann sich alsdann leicht überzeugen, wie sehr die Contouren des Objects durch den Einfluss der Beugungerscheinungen verwischt werden.

Schon dieser eine Umstand lehrt zur Genüge, dass jeder Versuch einer Steigerung der Gesamtvergrößerung ins Ungemessene, wie sie auch in neuester Zeit noch hin und wieder von practischen Optikern angestrebt wird, ins Gebiet der fruchtlosen Bemühungen gehört. Der Beugungseffect ist schon bei 3000maliger Vergrößerung so stark, dass man auf höhere Ziffern, ohne etwas dabei einzubüssen, füglich verzichten kann. In Wirklichkeit sinkt die nutzbare Vergrößerung — dieses Wort ernsthaft genommen — wegen der später zu besprechenden Bedingungen für das Zustandekommen des Structurbildes, worauf bereits im Vorhergehenden kurz hingewiesen wurde, noch auf eine sehr viel kleinere Ziffer herunter.

gemein gültige mathematische Darlegung dieser Störungen hat auch E. Abbe (Archiv f. mikrosk. Anat. Bd. 9, pag. 432) in Aussicht gestellt.

) Man hat nämlich $m = \frac{p^ - f}{f}$, folglich $f = \frac{p^* - f}{m}$, oder, da f sehr klein gegen p^* , $f = \frac{p^*}{m} = \frac{250}{m}$.

XII.

Von der Beleuchtung.

82 Es ist nicht unsere Absicht, hier alle die verschiedenen Beleuchtungsapparate für durchfallendes und auffallendes Licht, wie sie von diesem oder jenem Optiker hergestellt werden, ausführlich zu besprechen. Wer hierüber Belehrung wünscht, findet dieselbe im ausgedehntesten Maasse in den bekannten mikrographischen Werken von Mohl, Harting u. A. Was uns zunächst wichtiger erscheint, ist die Klärung der meist sehr unklaren Begriffe, die man sich gewöhnlich über den Einfluss der Beleuchtungsapparate macht, indem man ihnen Eigenschaften und Vorzüge zuschreibt, die sie unmöglich haben können*). Wir stellen uns daher vorzugsweise die Aufgabe, die für das Verständniss und die Anwendung der verschiedenen Beleuchtungsarten erforderliche theoretische Grundlage festzustellen.

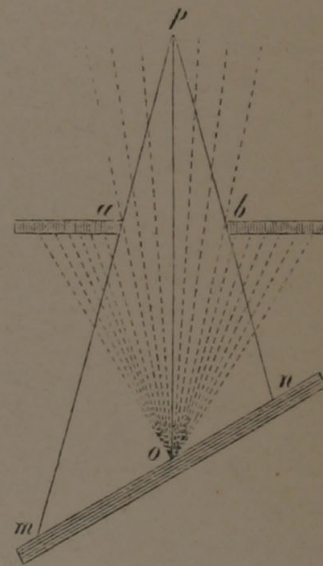
1. Beleuchtung mit durchfallendem Licht.

83 Der wichtigste und allein unentbehrliche Bestandtheil jedes Beleuch-

*) Es dürfte nicht ganz überflüssig sein, einige Ansichten, welche über den Einfluss der Beleuchtung auf die Wahrnehmung mikroskopischer Details ausgesprochen wurden, zusammenzustellen. Sie beweisen am besten, wie unklar die Vorstellungen waren, die sowohl Optiker als Mikroskopiker sich über diesen Punkt gemacht haben. Schleiden sagt pag. 103 seiner »Grundz. d. wiss. Bot.« wörtlich: »Man macht ihn (den Beleuchtungsspiegel) plan oder concav, und zwar letzteres so, dass der von ihm ausgehende Lichtkegel genau die Oeffnung des Tisches ausfüllt Wo möglich ist die Beleuchtung mit dem Planspiegel vorzuziehen; zwar ist hier die Lichtmenge nicht so gross, aber der Parallelismus der Strahlen ist entschieden für die Sicherheit der Beobachtung vortheilhafter. Es scheint nämlich, als ob durch die Convergenz der Strahlen beim Hohlspiegel in dem Bilde Verschiebungen veranlasst werden können. Ich bin oft auf diese Erscheinungen aufmerksam geworden, gestehe aber, dass ich nichts darüber zu sagen weiss, da die Optiker uns hier ganz im Stiche lassen.« Frühere Autoren, wie Wollaston, Brewster, Dujardin, hielten dagegen convergirendes Licht für das günstigste und die beiden letztern glaubten sogar, das Object müsse sich genau im Brennpuncte der convergirenden Strahlen befinden. Nach Pritchard endlich sollen schwierige Probeobjecte nur bei divergirendem Lichte gut gesehen werden. Harting, welcher diese Anschauungen erwähnt, erklärt dieselben aus dem verschiedenartigen Einfluss der Objecte auf den Gang der Lichtstrahlen und stellt seinerseits die eklektische Ansicht auf, die Beleuchtung müsse bald durch paralleles, bald durch convergirendes oder divergirendes Licht geschehen, je nachdem die besondern Umstände und die Art des Objects diess verlangen. Weiterhin, bei Besprechung der Mittel, durch welche angeblich die gewünschte Strahlenrichtung hergestellt werden soll, wird unter Anderem bemerkt, dass die Form des ebenen Spiegels gleichgültig sei, der Hohlspiegel dagegen müsse natürlich rund sein. Goring war in Betreff dieses letztern Punctes anderer Ansicht. Er legte einen grossen Werth darauf, dass der Beleuchtungsspiegel elliptisch und nicht kreisförmig sei, damit er von oben gesehen sich kreisförmig darstelle. Zugleich gab er demselben eine wahrhaft colossale Grösse (beinahe 5" Länge bei 4" Breite), um dadurch die Lichtstärke des Bildes zu steigern.

Wir denken, der unbefangene Leser wird aus der folgenden Darstellung die Ueberzeugung gewinnen, dass die einfallenden Strahlen, welche zur Beleuchtung der Flächenelemente des Gesichtsfeldes beitragen, immer convergiren und dass irgend eine bestimmte Form beim Hohlspiegel ebensowenig als beim Planspiegel geboten ist.

tungsapparates für durchfallendes Licht ist der Spiegel. Um seine Wirkung theoretisch festzustellen, denken wir uns denselben in die Strahlung einer unbegrenzten oder wenigstens sehr ausgedehnten und auf allen Puncten gleichmässig leuchtenden Lichtquelle eingetaucht. Jedes Element der spiegelnden Fläche wird alsdann nach eben so vielen Richtungen Licht aussenden, als es Licht empfängt. Wenn wir daher von der äusserst geringen Differenz der Verluste absehen, welche die unter ungleichen Winkeln reflectirten Strahlen erleiden, so wirkt der Spiegel mit Rücksicht auf die Einstellungsebene des Mikroskops genau so, wie eine selbstleuchtende Fläche und jedes Flächenelement desselben wie ein selbstleuchtender Punct. Dabei ist es vollkommen gleichgültig, ob derselbe eben, hohl oder erhaben sei, da ja die Leuchtkraft des einzelnen Flächenelements von seiner Neigung gegen die Axe des Instruments unabhängig und folglich die Helligkeit der ganzen Spiegelfläche dieselbe ist, ob diese Neigung sich von Element zu Element ändere oder constant bleibe. Ein beliebiges Flächenelement der Einstellungsebene p (Fig. 43) wird daher, wenn ab die Blendung darstellt, von Strahlen beleuchtet, welche von den Puncten der Spiegelfläche zwischen m und n ausgehen. Von dem ganzen nach oben divergirenden Lichtkegel, welchen jeder einzelne dieser Puncte aussendet (in der Figur wurde derselbe für den Punct o angedeutet) wirkt aber nur ein unendlich schmaler Theil mit, dessen Basis p ist. Die Intensität der Beleuchtung wird demnach, insofern die Spiegelfläche hinreichend ausgedehnt ist, durch die Blendung ab bedingt, weil hievon die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels mpn abhängt. Es ist aber vollkommen gleichgültig, ob die spiegelnde Fläche dem Gesichtsfeld näher oder ferner stehe; denn wenn auch die Lichtstärke eines Flächenelementes im quadratischen Verhältniss der Entfernung sich ändert, so wird im nämlichen Verhältniss auch die Zahl derselben grösser oder kleiner. Die Gesamtlichtmenge bleibt also nach wie vor dieselbe.

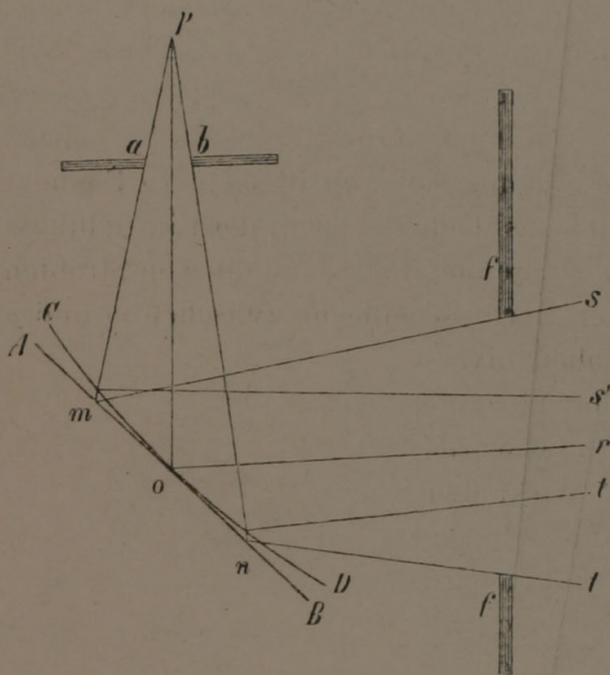


Figur 43.

Es folgt auch aus dem Vorhergehenden, dass ein Hohlspiegel die Einstellungsebene gleich gut erhellt, mag sein Brennpunct in die Ebene selbst oder ausserhalb derselben zu liegen kommen, jedoch immer unter der Voraussetzung, dass seine Oberfläche eine gewisse, durch die Blendung bestimmte Grenze der Kleinheit nicht überschreite. Da nämlich die Krümmung des Spiegels, wie oben gezeigt wurde, ohne allen Einfluss ist, so hat auch die Lage des Brennpunctes keinerlei optische Bedeutung.

Sehen wir jetzt zu, bis zu welchem Grade die Bedingung einer unbe- 84
 grenzten (d. h. über die durch die Blendung bestimmten Grenzen hinaus-

gehenden) und gleichmässig leuchtenden Lichtquelle in der Praxis erfüllt wird. Ist das Mikroskop in der Nähe eines Fensters aufgestellt und der Spiegel gegen den hellen Himmel gekehrt, so hat man, um obiger Bedingung zum mindesten sehr annähernd Genüge zu leisten, bloss dafür Sorge zu tragen, dass die Strahlenbündel, welche die Beleuchtung des Gesichtsfeldes vermitteln, wenn man sie rückwärts zur Spiegelfläche und von da nach der Lichtquelle verfolgt, diese letztere ohne Schwächung erreichen. Sind z. B. pm und pn (Fig. 44) zwei Grenzstrahlen, welche den Rand der Blending ab streifen, so werden dieselben von der ebenen Spiegelfläche



Figur 44.

AB nach s und t , von der concaven CD nach s' und t' reflectirt, während der centrale Strahl po in beiden Fällen nach r geht. Treffen nun die Strahlen s und t in der Wand ff die nämliche Fensterscheibe, oder liegt ganz allgemein zwischen den Richtungen derselben kein Hinderniss, so werden auch alle zwischenliegenden Strahlen, welche zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes beitragen, sich ohne Verlust nach der Lichtquelle, dem hellen Himmel, fortbewegen und folglich auch in umgekehrter Richtung ohne Verlust das Gesichtsfeld erreichen. Ob sie auf

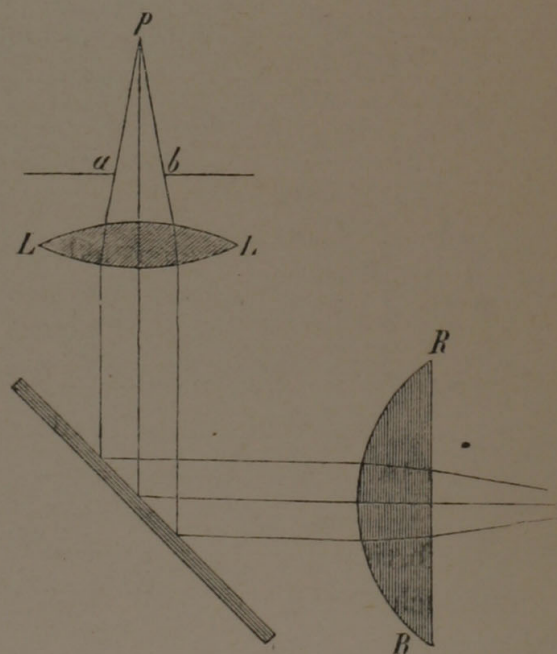
diesem Wege, je nach der Krümmung des Spiegels, divergiren, convergiren oder parallel verlaufen, ist natürlich vollkommen gleichgültig, wofern nur ein hinreichend grosses Stück des Himmelsgewölbes gleichmässige Beleuchtung zeigt. Finden sich dagegen auf dem Wege zwischen dem Gesichtsfelde und der Lichtquelle irgend welche Hindernisse, welche unter den angenommenen Verhältnissen einen Lichtausfall herbeiführen, so erhalten Form und Stellung der Spiegelfläche ihre Bedeutung. Es wirkt alsdann diejenige Combination am günstigsten, welche das fragliche Hinderniss zu umgehen oder wenigstens den dadurch verursachten Verlust am vollständigsten zu vermeiden gestattet. Ist z. B. eine bestimmte Stelle am Himmel intensiver beleuchtet als die benachbarten, so giebt ein Concavspiegel, welcher die von dort kommenden Lichtstrahlen in p vereinigt, ein Maximum der Helligkeit. Ebenso wird für jede andere Lichtquelle von relativ geringer Ausdehnung, wie z. B. eine Lampenflamme, ein weisses Stück Mauer u. dgl., der Hohlspiegel mit Rücksicht auf Stärke der Beleuchtung den Vorzug verdienen, und zwar müsste derselbe stets so gestellt sein, dass

Lichtquelle und Gesichtsfeld annähernd in conjugirten Vereinigungsweiten davon abständen.

Die Grösse des Spiegels kommt selbstverständlich erst dann in Betracht, wenn der Rand ganz oder zum Theil innerhalb der Grenze liegt, bis zu welcher seine Oberfläche bei gegebener Oeffnung der Blendung optisch wirksam sein könnte. Denken wir uns die Blendung ganz weg, so bildet die Spiegelfläche die Basis des einfallenden Lichtkegels; und die Oeffnung desselben wird dann um so grösser, je kleiner der Abstand vom Gesichtsfeld.

Alles das beruht, wie man sieht, auf den einfachsten Gesetzen der Optik. Es ist daher um so unbegreiflicher, wenn selbst in den neuern mikrographischen Werken von parallelem oder gar divergirendem Licht die Rede ist, welches je nach Umständen zur Beleuchtung des Gesichtsfeldes (d. h. doch wohl seiner Flächenelemente) verwendet werden soll. Das Licht, welches einen bestimmten Punct des Gesichtsfeldes erhellt, ist ja immer convergirend, d. h. die vom Spiegel ausgehenden Strahlen kreuzen sich in dem betreffenden Punct und divergiren von da aus gegen das Objectiv. Es scheint uns überflüssig, die gegentheilige Annahme hier ausführlicher zu widerlegen.

Was zweitens die verschiedenen Linsen und Linsensysteme betrifft, 85 welche man irgendwo auf dem Wege des einfallenden Lichtes einzuschalten pflegt, so lässt sich leicht beweisen, dass sie ebenso wie die Form und Stellung des Spiegels nur in bestimmten practischen Fällen Einfluss üben, dagegen in allen Fällen, wo Spiegel und Lichtquelle als unbegrenzt betrachtet werden dürfen, wirkungslos bleiben. Ist wieder p (Fig. 45) ein Flächenelement des Gesichtsfeldes und ab die Blendung, welche die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels bestimmt, so verhält sich ganz allgemein die erste brechende oder reflectirende Fläche unterhalb der Blendung wie eine unbegrenzte Lichtquelle. Denn jeder Punct derselben empfängt aus allen in Betracht kommenden

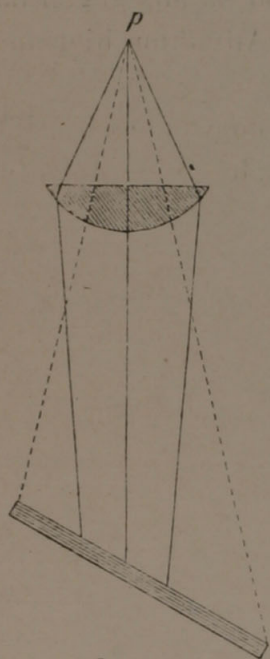


Figur 45.

Richtungen Lichtstrahlen und sendet also auch solche nach allen Richtungen aus. Dabei ist es vollkommen gleichgültig, ob die empfangenen Strahlenbündel auf geradem Wege oder erst nach verschiedenen Brechungen oder Reflexionen zu der fraglichen Fläche gelangen (abgesehen natürlich

von den Verlusten, welche die Ablenkung bedingt), da die Richtungsverschiedenheit der einfallenden Strahlen wegen der Unbegrenztheit der eigentlichen Lichtquelle nicht in Betracht kommt. Wir können überhaupt jede beliebige Ebene unterhalb der Blendung, die Blendung selbst mit inbegriffen, als leuchtende Fläche betrachten, mag in derselben eine Ablenkung durch Brechung oder Reflexion stattfinden oder nicht. Versetzen wir also einstweilen unsere leuchtende Fläche in das Niveau der Blendung, so wirkt jeder Punkt der letztern wie ein selbstleuchtender Punkt, und die Beleuchtungsapparate *LL* und *RR* können offenbar keine andere Wirkung haben, als dass die Strahlen, welche zur Beleuchtung des Punktes *p* beitragen, auf ihrem Wege zwischen der Blendung und der ursprünglichen Lichtquelle mehrere Ablenkungen erfahren, wie diess in der Figur durch den Verlauf der Linien veranschaulicht ist.

Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels durch den Spiegel bestimmt wird. Das Einschalten einer Sammellinse bewirkt in diesem Falle, wie man aus Fig. 46 ersieht,



Figur 46.

eine stärkere Convergenz der Strahlen und daher unter Umständen einen grössern Oeffnungswinkel. Es ist nämlich immer möglich, die Stellung der Linse so zu wählen, dass der wirksame Lichtkegel, dessen Spitze in *p* liegt, die ganze Linsenoberfläche zur Basis hat. Die Linse leistet alsdann genau dasselbe, wie eine im gleichen Niveau befindliche Blendungsöffnung, welche ihr Licht von einer relativ unbegrenzten Spiegelfläche erhält. Sie giebt wie diese eine um so grössere Lichtstärke, je geringer ihr Abstand von der Einstellungsebene. Die Steigerung erreicht jedoch in beiden Fällen ihre Grenze, sobald die rückwärts construirten Randstrahlen die Peripherie des Spiegels treffen.

Diese Betrachtung findet natürlich auch auf den Fall Anwendung, dass die ursprüngliche Lichtquelle begrenzt, die spiegelnde Fläche dagegen unbegrenzt ist. Man braucht nur das erstere Wort für das letztere zu substituiren, um den vorstehenden Sätzen auch für diese Voraussetzung buchstäbliche Geltung zu geben. Sie lassen sich mutatis mutandis auch auf den gewöhnlich vorkommenden Fall ausdehnen, dass sowohl Lichtquelle als Spiegelfläche begrenzt oder doch ungleichmässig beleuchtet sind. Die grösstmögliche Lichtstärke, die sich durch Beleuchtungsapparate erzielen lässt, kann unter keinen Umständen diejenige übertreffen, welche ein hinreichend grosser Spiegel bei relativ unbegrenzter Lichtquelle für sich allein bieten würde.

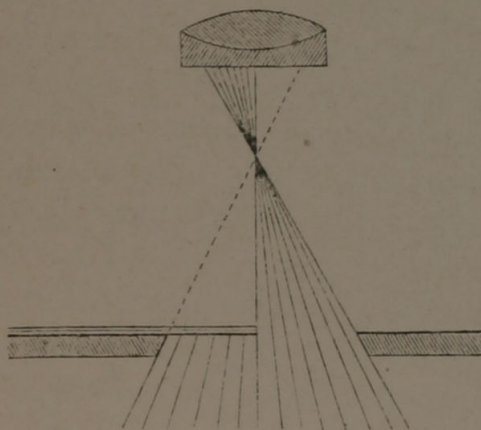
apparat mit einer Blendung versehen ist, welche die Ungleichheit der Bedingungen für die verschiedenfarbigen Strahlen aufhebt, in dem Sinne, dass alle ohne Ausnahme, rückwärts construirt, zur Lichtquelle gelangen würden, irgend ein Unterschied zwischen achromatischen und nicht achromatischen Linsensystemen unmöglich bestehen kann. Nur wenn die Lichtquelle eine so geringe Ausdehnung hätte, dass z. B. die blauen Randstrahlen dieselbe noch treffen, während die rothen bereits daneben fallen, oder umgekehrt; wenn es überhaupt nicht möglich wäre, die Beleuchtung so zu reguliren, dass die verschiedenfarbigen Strahlen von annähernd gleich hellen Puncten der Lichtquelle, z. B. des hellen Himmels, kommen und also rückwärts construirt auch solche treffen, dann würde allerdings ein achromatisches System den Vorzug verdienen. Da jedoch solche Beschränkungen in der Praxis, namentlich wenn das Instrument mit einem Hohlspiegel versehen ist, nur selten vorkommen und jedenfalls in den meisten Fällen vermieden werden können, dürfte die Herstellung achromatischer Beleuchtungsapparate so ziemlich überflüssig sein.

Die verschiedenen Beleuchtungsapparate sind also nach dem Angeführten nur nach zweierlei Richtungen wirksam: sie geben dem Lichtkegel, welcher ein bestimmtes Flächenelement des Gesichtsfeldes erhellt, eine im ganzen Querschnitt gleiche Intensität und vergrössern zweitens dessen Oeffnungswinkel. Was man sonst über ihren Einfluss angegeben findet, wie z. B. dass sie die Interferenzlinien am Rande der Objecte zum Verschwinden bringen und schwierige Details um so besser auflösen, je vollständiger die Aberrationen beseitigt seien u. dgl., ist pure Einbildung. Bei gleicher Blendung und gleicher Brennweite wird eine beliebige Sammellinse stets dieselben Dienste thun, wie das complicirteste Linsensystem, wofern nur die Durchmesser der brechenden Flächen und des Spiegels für alle Farben der Grösse der Blendung entsprechen. Unter dieser Voraussetzung muss auch der Oeffnungswinkel des einfallenden Lichtkegels um so grösser werden, je kleiner der Abstand der Blendung von der Einstellungsebene. Dabei ist es völlig gleichgültig, ob der Brennpunct des Beleuchtungsapparates in die Einstellungsebene falle oder nicht. Seine Lage gewinnt nur dadurch eine praktische Bedeutung, dass bei zu grosser Annäherung an das Objectiv die rückwärts construirten Randstrahlen die Spiegelfläche nicht mehr treffen, und folglich allerdings das Maximum der Lichtstärke nahezu erreicht ist, wenn das vom Beleuchtungsapparat entworfene Bild entfernter Gegenstände im Gesichtsfelde erscheint.

Soll der Beleuchtungsapparat allen Anforderungen genügen, so muss er 87 ausser der Blendung über der letzten brechenden Fläche, wodurch seine Oeffnung bestimmt wird, auch mit Vorrichtungen ausgestattet sein, welche einen beliebigen Theil des Lichtkegels verfinstern. Manche Objecte treten nämlich am deutlichsten hervor, wenn die Centralstrahlen vom Gesichtsfelde abgehalten werden; andere wieder deutlicher, wenn nur einseitig

geneigte Strahlen zur Beleuchtung beitragen. Um also die Beleuchtung nach Bedürfniss zu regeln, ist es nothwendig, ausser der gewöhnlichen Blendung auch solche anzubringen, welche die Mitte der Oeffnung oder einen grössern oder kleinern Abschnitt derselben verdecken. Man könnte diess am einfachsten bewerkstelligen, indem man auf dem Ring der gewöhnlichen Blendung (oder auf der Blendungsscheibe) noch einen drehbaren Kreissector oder ein Rad anbrächte und daran grössere und kleinere Scheibchen befestigte, die dann nach Belieben über die Blendungsöffnung vorgeschoben werden könnten. Auch kleinere Schieber, wie sie gewöhnlich an Fernröhren zum Schutze der Oculare angebracht sind, oder Stopfenblendungen wie beim Wenham'schen Paraboloid, können unter Umständen zweckdienlich sein. Es ist übrigens ziemlich einerlei, in welcher Weise man die gewünschte Beleuchtung erzielt; nur ist es aus den oben angeführten Gründen rathsam, die fraglichen Vorrichtungen über dem Beleuchtungsapparat, nicht unter demselben, wie es öfter geschieht, anzubringen.

88 Die sogenannte schiefe Beleuchtung, welche man in neuerer Zeit häufig anwendet, um schwierige Einzelheiten zu erkennen, setzt einen einfallenden Lichtkegel voraus, dessen Axe gegen diejenige des Mikroskops



Figur 47.

mehr oder weniger geneigt ist. Ein solcher Lichtkegel wird natürlich schon dadurch hergestellt, dass man ohne weitere Hülfsmittel den Spiegel oder die Blendung etwas seitlich rückt; er kommt auch dadurch zu Stande, dass man, ohne den Spiegel oder die Blendung aus ihrer Lage zu bringen, einen Theil der Blendungsöffnung vom Rande her zudeckt, so dass z. B. bloss die Hälfte des ursprünglichen Lichtkegels wirksam bleibt (Fig. 47). Es leuchtet ein, dass

wenn der Oeffnungswinkel der Blendung demjenigen des Objectivs gleich wäre und eine Ablenkung im Gesichtsfelde nicht stattfände, nach dieser letztern Methode jede überhaupt mögliche schiefe Beleuchtung hergestellt werden könnte. Da jedoch die erstere Bedingung gewöhnlich nicht erfüllt wird (die Blendung besitzt fast immer eine relativ kleinere Oeffnung) und die letztere nicht erfüllt werden kann, so mag es in manchen Fällen einigen Vortheil gewähren, wenn der Beleuchtungsapparat selbst um eine horizontale Axe drehbar und somit geeignet ist, Lichtstrahlen von beliebiger Neigung zu liefern. Sehr hoch möchten wir indess den Werth solcher Vorrichtungen gerade nicht anschlagen. Eine seitlich verschiebbare Blendung, wie sie die meisten neuern Mikroskope besitzen, wird — mit einer entsprechenden Spiegelstellung combinirt — in den meisten Fällen ganz dieselben Dienste thun.

Unter den Beleuchtungsvorrichtungen, welche in besondern Fällen, 89 wie z. B. bei der Prüfung der Objective u. dgl., wirkliche Dienste leisten, verdient namentlich die neuerdings von Abbe beschriebene empfohlen zu werden.*) Dieselbe besteht aus zwei unachromatischen Linsen, welche in eine runde Messingscheibe gefasst sind. Die nach oben gekehrte Frontlinse ist planconvex und mehr als halbkugelig; ihre ebene Fläche kommt, wenn die Fassung von oben in den Objecttisch eingeschoben wird, um eine Spur tiefer zu liegen, als die Ebene des Tisches. Die Brennweite der combinirten Linsen ist so gewählt, dass der Brennpunct nur ein paar Millimeter von der ebenen Fläche der Frontlinse absteht und folglich in die Nähe des Objectes zu liegen kommt. Dabei ist der Oeffnungswinkel der ausfahrenden Strahlen so gross, dass die äussersten derselben in einer Wasserschicht nahezu 60° gegen die Axe geneigt sind. Der gesammte wirksame Lichtkegel besitzt demnach eine Oeffnung von 120° .

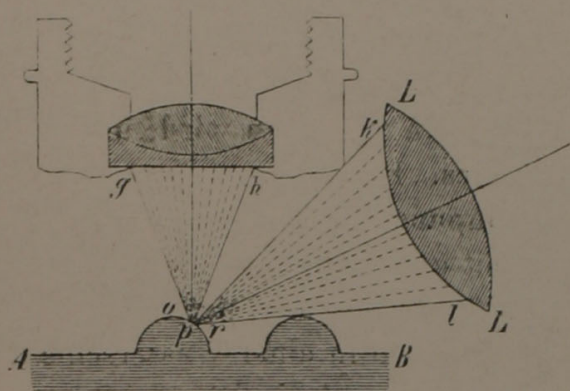
Man begreift nun, dass zur Herstellung der verschiedenen Beleuchtungen weiter Nichts nöthig ist, als ein verschiebbares Diaphragma mit passender Oeffnung, welche letztere für gerade Beleuchtung* in die Axe gestellt, für schiefe dagegen mehr oder weniger seitlich verschoben wird. Die radiale Verschiebung geschieht in dem von Abbe beschriebenen Apparat durch Zahn und Trieb; für die meisten Fälle wäre indess ein solcher Mechanismus nicht einmal nothwendig, da eine zweckmässige Verstellung der Blendungsöffnung eben so gut durch eine Handbewegung geschehen könnte. Wir verweisen bezüglich des Nähern auf die citirte Abhandlung und bemerken nur noch, dass die Firma Carl Zeiss in Jena den Abbe'schen Beleuchtungsapparat in ihren Catalog aufgenommen hat.

2. Beleuchtung mit auffallendem Licht.

Die Beleuchtung undurchsichtiger Gegenstände von oben gewährt den 90 Vortheil, dass dadurch die mikroskopische Wahrnehmung dem Sehen mit blossen Auge ähnlicher wird, indem das schliessliche Bild auf der Netzhaut in beiden Fällen von Strahlen herrührt, die an der Oberfläche der Körper reflectirt werden. Eine vollkommene Uebereinstimmung besteht aber deswegen noch lange nicht, da Schatten und Licht für das bewaffnete Auge wegen der grössern Oeffnung der wirksamen, vom Objecte ausgehenden Lichtkegel sich *ceteris paribus* stets anders vertheilen, als für das unbewaffnete. Mit diesem Unterschied in der Grösse der Oeffnungswinkel hängt denn auch die Schwierigkeit zusammen, für jeden Lichtkegel, der vom Objectpunct zum Objectiv gelangen soll, den entsprechenden einfallenden zu liefern, d. h. die Beleuchtung so zu regeln, dass wenn man die Lichtbündel rückwärts construirt, jeder Strahl die gegebene Lichtquelle

*) S. Archiv f. mikroskop. Anat. IX, p. 469.

trifft. Ist z. B. AB (Fig. 48) die Oberfläche eines Körpers mit halbkugelförmigen Erhabenheiten und gh der optisch wirksame Theil des Objectivs, so wird der nach p zielende Lichtkegel ghp , wie die Construction ergibt,

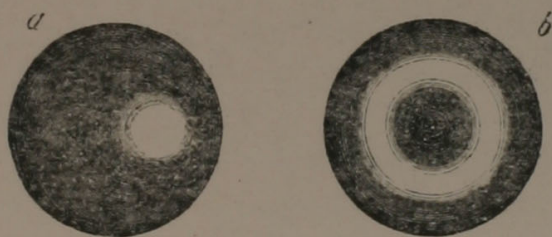


Figur 48.

so reflectirt, dass seine Randstrahlen die Richtungen pk und pl einschlagen. Sie streifen also unter den in der Figur gegebenen Dimensionsverhältnissen einerseits die Oberfläche des Körpers und andererseits den Rand des Objectivs und erreichen auf diesem Wege durch das Fenster des Beobachtungszimmers die unbegrenzte Lichtquelle, den hellen Himmel.

Allfällige Hindernisse, welche der Fortpflanzung des Lichtes entgegenstehen, können durch Einschalten einer Sammellinse (LL in obiger Figur) oder eines Hohlspiegels, der hier ganz dieselben Dienste thut, wie bei durchfallendem Licht, umgangen werden. Alle zwischenliegenden Strahlen gelangen natürlich ebenfalls zur Lichtquelle und folglich auch in umgekehrter Richtung von dieser zum Objectiv. Der Punct p wird also durch einen vollen Lichtkegel beleuchtet, dessen Oeffnung derjenigen des Objectivs gleichkommt.

Denken wir uns jetzt ähnliche Lichtkegel nach den Puncten rechts und links von p construirt, so ist ohne Weiteres klar, dass dieselben nur theilweise zur Lichtquelle gelangen, da ein anderer Theil entweder nach dem Objectiv oder nach Puncten der Körperoberfläche reflectirt wird. Die gedachten Lichtkegel kommen also in Wirklichkeit nur theilweise zu Stande. Die Verluste werden um so grösser, je mehr wir uns einerseits dem Scheitel o und andererseits dem Rand der Halbkugel nähern. In o muss unter allen Umständen vollkommene Dunkelheit eintreten, weil der



Figur 49.

einfallende Lichtkegel mit dem reflectirten zusammenfällt; ebenso ist für den rechts von p gelegenen Punct r unter den angenommenen Verhältnissen eine Beleuchtung unmöglich, da alle in r reflectirten Strahlen neben den wirksamen Theil des Objectivs fallen. Die

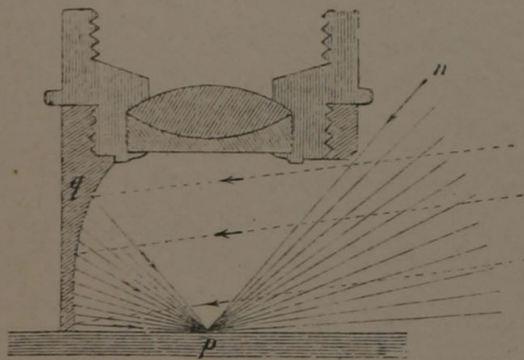
Halbkugel erscheint also nur in der Umgebung von p hell (Fig. 49a), und selbst wenn die Lichtquelle für alle gleichweit von o abstehende Puncte dieselbe Intensität besässe — was in der Praxis nicht der Fall ist, da das Licht seitlich einfällt — würde diese helle Stelle sich nur als schmale kreisförmige Zone darstellen (Fig. 49b).

Wir werden weiter unten, wo es sich um die Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung handelt, die Vertheilung von Licht und Schatten für einige Körperformen genauer zu bestimmen suchen; hier sollte bloss gezeigt werden, dass eine solche Beleuchtung im Allgemeinen nicht günstig sein kann, um sich über die Formverhältnisse eines gegebenen Objects zu orientiren, da schon bei mässiger Oeffnung des Objectivs ein grosser Theil der Oberfläche in den Kern- oder Halbschatten fällt. Sie findet auch in der Regel nur Anwendung, wenn die Vergrösserung nicht viel über 400—420 Mal steigt, so dass die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels (*kpl* in Fig. 48) bedeutend grösser ist, als diejenige des Objectivs. Das Einschalten einer Sammellinse gewährt alsdann, wie beim durchfallenden Licht, den praktischen Vortheil, dass die Herstellung eines solchen Lichtkegels noch möglich ist, wenn das Mikroskop auch ziemlich weit vom Fenster aufgestellt wird, insofern nur die Brennweite der Linse im Verhältniss zum Durchmesser derselben nicht zu gross ist. Dass übrigens ein äquivalenter Hohlspiegel oder ein Selligue'sches Prisma (rechtwinkliges Prisma, dessen beide unter dem rechten Winkel zusammenstossende Flächen convex geschliffen sind) ganz dasselbe leistet, was eine Beleuchtungslinse, ist an und für sich klar. Doch dürfte die letztere in den meisten Fällen aus rein praktischen Rücksichten den Vorzug verdienen.

Der angedeutete Uebelstand, dass bei dieser Beleuchtung der grössere 91 Theil der Körperoberfläche in den Schatten fällt, lässt sich übrigens bis auf einen gewissen Grad beseitigen. Da nämlich die Vertheilung von Licht und Schatten im mikroskopischen Bilde einzig und allein von der Lage und Oeffnung des einfallenden Lichtkegels abhängt (das Objectivsystem wird als gegeben betrachtet), so ist es möglich, durch geschickte Verwendung spiegelnder Flächen dem erhellten Theile des Bildes eine grössere Ausdehnung zu geben. Ist z. B. das Fenster des Arbeitszimmers oder die Beleuchtungslinse die (secundäre) Lichtquelle, so wirkt ein gewöhnlicher Spiegel, welcher auf der entgegengesetzten Seite der Mikroskopröhre in geeigneter Stellung dem Lichte zugewendet wird, wie eine Verdoppelung dieser Lichtquelle. Ein kugelförmiger Körper, welcher bei einseitiger Beleuchtung eine einzige excentrische Lichtstelle zeigt, erhält auf diese Weise deren zwei; ebenso kommt zu der Lichtlinie, welche ein parallel mit dem Fenster verlaufender Metalldraht entwirft, in Folge der Spiegelung eine zweite symmetrische hinzu. Stünde das Mikroskop in einem geschlossenen Halbkreis von Spiegeln und nahe am Fenster, so müsste der Lichteffect annähernd derselbe sein, wie wenn es unter freiem Himmel oder in einem Glashaus mit unbeschränktem Seiten- und Oberlicht aufgestellt wäre. Eine ähnliche Wirkung, wenn auch nicht eine vollkommen äquivalente, müsste auch ein kleiner cylindrischer oder im Querschnitt parabolischer Hohlspiegel hervorbringen, welcher am untern Ende des Objectivs so befestigt wäre, dass das von ihm entworfene Bild des Fensters im Focus des Mikro-

skops zu Stande käme. Man könnte, um seine Wirkung noch etwas zu steigern, demselben auch in der Richtung der Axe eine entsprechende Krümmung geben, wie diess in Fig. 50 veranschaulicht ist. Der Objectpunct p würde auf diese Weise so beleuchtet, als wäre derselbe in die Strahlung des ganzen Himmelsgewölbes, mit Ausnahme der durch den Winkel $qp n$ bestimmten Scheitelregion eingetaucht.

92 Ein solcher Beleuchtungsapparat ist unseres Wissens nie hergestellt worden. Das Wenham'sche Paraboloid *) und einige andere Apparate,



Figur 50.

welche besonders in England Verbreitung gefunden haben, sind nur insofern mit ihm verwandt, als das Licht, welches zur Beleuchtung beiträgt, ebenfalls seitlich oder von allen Seiten, aber nur innerhalb gewisser, ziemlich eng gezogener Grenzen der Neigung einfällt. Dasselbe gilt auch von dem oben erwähnten Abbe'schen Apparat, sofern derselbe zur Beleuchtung mit auf-

fallendem Licht verwendet wird. Hier werden nämlich bloss die peripherischen Strahlen von c. $60-48^\circ$ Neigung ungeschwächt — nämlich durch Totalreflexion an der obern Fläche des Deckgläschens — auf das Object zurückgeworfen; von den weniger geneigten, die ohnehin zum Theil abgeblendet werden müssen, wird natürlich nur ein Bruchtheil reflectirt, und bei Anwendung von Immersionslinsen kann selbstverständlich gar keine Totalreflexion mehr stattfinden. — Dagegen besitzen wir in dem Lieberkühn'schen Spiegel gewissermassen ein Gegenstück zu Fig. 50, indem derselbe gerade die dem Winkel $qp n$ entsprechende Strahlung herstellt und also denjenigen Theil des Himmelsgewölbes repräsentirt, der in unserem Falle ausgeschlossen war. Diese Wirkung wird durch ein in der Mitte durchbrochenes Concavspiegelchen erzielt, welches mittelst seiner Fassung so an das Objectiv angeschraubt wird, dass der wirksame Theil der Objectivlinse die Oeffnung des Spiegels ausfüllt und so die reflectirende Fläche wieder vervollständigt **). Als Lichtquelle dient der gewöhnliche Beleuch-

*) Das Wenham'sche Paraboloid ist ein nach unten gekehrter und am Scheitel durchbrochener parabolischer Spiegel, welcher nach Art einer Cylinderblendung in den Objecttisch eingeschoben wird. Soll derselbe auffallendes Licht liefern (er wurde zunächst für durchfallendes construirt), so bringt man das zu beleuchtende Object in ein starkbrechendes Medium (Terpentinöl, Canadabalsam u. dgl.) und bedeckt es mit einem Deckglas. Alsdann erfahren die vom Spiegel kommenden Randstrahlen, welche unter einem Winkel von c. 42° und darüber einfallen, an der Oberfläche des Deckglases eine totale Reflexion und bilden nun einen nach oben geöffneten Strahlentrichter, dessen Spitze bei richtiger Einstellung des Apparates die Oberfläche des Objectes trifft.

**) Die Spiegelung der Objectivlinse ist so beträchtlich, dass das von ihr entworfenen Schattenbild eines Quecksilbertropfens in diesem letztern selbst wieder ein verkleinertes Bildchen hervorruft, das mikroskopisch noch deutlich wahrnehmbar ist.

tungsspiegel, welcher durch eine weite Oeffnung im Objecttisch das Licht nach oben wirft, wobei natürlich die Strahlen, welche von unten auf das Object selbst fallen, abgehalten werden. Die Krümmung des Concavspiegelchens muss dem entsprechend eine solche sein, dass die von den Objectpuncten rückwärts construirten Strahlenbündel auf den Beleuchtungsspiegel fallen, was nur möglich ist, wenn die Brennpuncte des Spiegelchens und des Objectivs einander nahe liegen oder zusammenfallen; das letztere ist übrigens keineswegs nothwendig.

Soll der Gegenstand sich auf einem dunkeln oder beliebig gefärbten Grunde abzeichnen, so wird er auf eine entsprechende undurchsichtige Unterlage gelegt, welche so gross ist, dass sie das ganze Gesichtsfeld ausfüllt. Das Festhalten des Objectes mit oder ohne Unterlage geschieht durch einen geeigneten Halter oder einfach durch Auflegen auf eine Glasplatte.

Die Wirkung des Lieberkühn'schen Spiegels steht zur Beleuchtung durch seitlich einfallendes Licht in demselben Gegensatz, wie in öffentlichen Gebäuden (Kunstgalerien etc.) das reine Oberlicht zum gewöhnlichen Seitenlicht. Während das letztere an jedem Gegenstande und an jeder Erhabenheit eine Licht- und eine Schattenseite hervorhebt, drängt das erstere den Schatten auf die dem Auge abgewendete Seite zurück, so dass der sichtbare Theil der Körper ziemlich gleichmässig beleuchtet erscheint. *)

*) Man begegnet noch hin und wieder ziemlich unklaren Vorstellungen über die Wirkung der verschiedenen Beleuchtungsapparate, und die sogenannten »Condensoren« spielen zuweilen noch eine höchst merkwürdige Rolle. Es rührt diess in der Regel daher, dass manche Mikroskopiker sich ausschliesslich an das Gesehene halten, ohne sich über das Zustandekommen des beobachteten Effectes weiter Rechenschaft zu geben. Aus der mehrfach citirten Abhandlung von Abbe (Archiv f. mikrosk. Anat. IX, p. 469) ersehen wir jedoch, dass Beobachter, denen vermöge ihrer mathematisch-physikalischen Bildung in dieser Frage ein Urtheil zusteht, die Richtigkeit unserer Darlegung anerkennen.

Zweiter Abschnitt.

Die mechanische Einrichtung des Mikroskops.

- 93 Wenn wir der mechanischen Einrichtung des Mikroskops einen besondern Abschnitt widmen, so geschieht diess vorzugsweise, um auch dem Leser, welchem andere mikrographische Werke nicht zu Gebote stehen, gerecht zu werden. Wir beschränken uns dabei auf eine kurze Darlegung der Grundsätze, welche in den verschiedenen Werkstätten in diesem Betreff befolgt werden, und eine darauf folgende Beschreibung der Mikroskopgestelle, wie sie gegenwärtig von den namhaften Optikern geliefert werden.
-

I.

Allgemeine Regeln für die Construction der Stative.

- 94 Die Einstellung. Das Stativ des zusammengesetzten Mikroskops hat zunächst den Zweck, das Objectiv in die richtige Entfernung vom Object zu bringen und darin unverrückt festzuhalten. Zu diesem Behufe muss dasselbe mit Vorrichtungen ausgestattet sein, welche sowohl die grössern Distanzänderungen, wie sie z. B. beim Wechsel der Objective nothwendig sind, als auch die feinere Einstellung auf ein gegebenes Niveau erlauben. Der Mechanismus dieser Vorrichtungen lässt drei Modificationen zu, von denen jede in sehr verschiedener Weise Anwendung findet. Die Einstellung geschieht nämlich a) durch Bewegung der Mikroskopröhre gegen den feststehenden Objecttisch, auf welchem der zu untersuchende Gegenstand liegt, oder b) durch Bewegung des Objecttisches gegen die unbewegliche Mikroskopröhre, oder auch c) durch eine Combination beider Bewegungen, wobei gewöhnlich die Mikroskopröhre für die gröbere und der Objecttisch für die feinere Einstellung gewählt wird. Jede dieser Modificationen bietet natürlich ihre Vor- und Nachtheile, und es ist zum Theil Sache der individuellen Beurtheilung, wie man dieselben gegen einander abwägt. Mohl spricht sich entschieden gegen jede Bewegung des

Objecttisches aus, weil das so störende Schlottern desselben bei längerem Gebrauch sonst nicht zu vermeiden sei, und weil das nach seinem Dafürhalten unentbehrliche Schraubenmikrometer nur an einem durchaus feststehenden Tische hinreichend sicher befestigt werden könne. Der erste Grund ist jedenfalls beachtenswerth; der letztere will uns bei der geringen Verbreitung der Schraubenmikrometer weniger einleuchten. Auf der andern Seite ist mit der Unbeweglichkeit der Mikroskopröhre der Vortheil verbunden, dass der Kopf beim Gebrauch verschiedener Objective immer in gleicher Höhe gehalten werden kann, während seine Lage im entgegengesetzten Fall von der Vergrösserung abhängt. Indess sind die Niveaudifferenzen, welche die Einstellung mit sich bringt, nur mit Rücksicht auf die allerschwächsten Objective als Uebelstand zu betrachten, und auch hier kann derselbe durch entsprechende Verkürzung des Rohres beseitigt werden. Der triftigere Grund spricht also immerhin zu Gunsten der vollständigen Unbeweglichkeit des Objecttisches in der Richtung der Mikroskopaxe.

Die gröbere Einstellung wird entweder durch einen Trieb, der wieder in sehr verschiedener Weise angebracht sein kann, oder durch Verschieben der Mikroskopröhre in einer etwas federnden Hülse mittelst der Hand bewerkstelligt. Die erstere Art der Bewegung findet sich gegenwärtig bei den meisten grössern Instrumenten, die letztere bei der grossen Mehrzahl der kleinen, zumal der deutschen und französischen Mikroskope. Die Hülse hat vor dem Trieb die grössere Einfachheit und die sanftere Bewegung voraus; allein bei längerem Gebrauche nützen sich die Berührungsflächen allmählich ab und bedecken sich gleichzeitig in Folge der Oxydation mit Schmutz. Die Röhre schiebt sich alsdann zu leicht oder zu schwer, je nachdem sie blank geputzt oder angelaufen ist. Indess kann dem Uebelstand, dass dieselbe sich durch ihr eigenes Gewicht senkt, durch schwaches Zusammendrücken der Hülse leicht abgeholfen werden.

Statt des gewöhnlichen Triebwerkes mit Rad und Zahnstange ist von Wenham eine sanftere, bloss auf Reibung beruhende Triebeinrichtung*) in Vorschlag gebracht worden, die jedoch bis dahin weder in Deutschland noch Frankreich Anklang gefunden hat. Dagegen ist das Princip der an englischen Instrumenten zu verschiedenen Zwecken benutzten Hebelbewegung bei den grossen Plössl'schen Mikroskopen für die grobe Einstellung verwerthet worden. Die betreffende Einrichtung wird als eine »höchst solide und handsame Construction« empfohlen.

Der Objecttisch soll hinreichend gross (mindestens $2\frac{1}{2}$ —3 Zoll 95 im Durchmesser), eben und, wie schon erwähnt, möglichst fest sein. Vorstehende Schraubenköpfe, festsitzende Federklammern u. dgl. erweisen sich immer als unpraktisch, weil sie das Auflegen grösserer Glasplatten und das Verschieben derselben in der Einstellungsebene hindern. Dagegen

*) Näheres hierüber bei Harting, Mikr. 2. Aufl. III, p. 224.

ist die Form des Tisches, ob rund oder viereckig, ziemlich gleichgültig; auch möchten wir gerade kein grosses Gewicht darauf legen, ob seine Oberfläche schwarz angestrichen sei oder nicht, da der Glanz des Metalls sich ohnehin bald verliert und das falsche Licht, welches namentlich bei Anwendung schwacher Vergrösserungen nicht selten in störender Weise ins Mikroskop geworfen wird, doch vorzugsweise vom Objectträger herührt. Wo die Sicherheit der Beobachtung schon durch geringe Mengen reflectirten Lichtes beeinträchtigt wird, muss dasselbe trotz des schwarzen Anstriches durch Vorhalten der Hand oder durch eine passende Vorrichtung ausgeschlossen werden.

Die Oeffnung des Objecttisches muss selbstverständlich wenigstens so gross sein, als das Gesichtsfeld des schwächsten Objectivs. Da jedoch für manche Untersuchungen eine viel kleinere Oeffnung, für andere eine sehr grosse von wenigstens 4 Zoll Durchmesser wünschenswerth ist, so dürfte es am zweckmässigsten sein, dem Objecttisch selbst eine grosse Oeffnung zu geben und dieselbe durch in der Mitte durchbohrte Scheiben, die von oben in eine entsprechende Vertiefung des Tisches eingelassen werden, auf den gewünschten Umfang zu reduciren. Solche Vertiefungen sind auch für andere Zwecke, z. B. zum Auflegen der Gypsplättchen bei Untersuchungen im polarisirten Lichte, sehr bequem.

Ein Schlitten an der Unterfläche des Tisches gewährt den Vortheil, dass mit demselben der ganze Blendungsapparat nach Belieben seitlich gerückt oder auch ganz entfernt werden kann, was namentlich bei manchen physikalischen Untersuchungen sehr practisch ist.

Grössere Stative werden zweckmässig so eingerichtet, dass der Tisch mit dem ganzen obern Theil des Mikroskops um dessen optische Axe drehbar ist, indem es dadurch möglich wird, das schief einfallende Licht unter jedem beliebigen Winkel auf das Object wirken zu lassen. Diese Einrichtung, welche wir Oberhäuser verdanken, findet sich gegenwärtig fast bei allen grössern Mikroskopen. Bei kleinern Gestellen kann dieselbe auch durch eine auf dem Objecttisch befestigte drehbare Scheibe ersetzt werden, welche jedoch für die stärkern Vergrösserungen mit einer besondern Vorrichtung zum Centriren ausgestattet sein muss. Da nämlich die geringste Excentricität der Drehungsaxe Ortsveränderungen des Objectes während der Drehung zur Folge hat, die sich leicht bis zum Verschwinden aus dem Gesichtsfelde steigern, und andererseits die optischen Axen der verschiedenen Objective nie genau in der nämlichen Verticale liegen, so ist es absolut unmöglich, die Scheibe ein für allemal richtig zu placiren; sie muss daher innerhalb gewisser Grenzen rechtwinklig verschoben werden können. Diese Verschiebbarkeit ist auch noch in anderer Beziehung von Nutzen; sie erleichtert bei mikrometrischen und Winkelmessungen die genaue Einstellung eines Theilstriches oder des Fadenkreuzes auf einen bestimmten Punct und leistet dadurch namentlich bei krystallographischen

Untersuchungen wesentliche Dienste. Zu empfehlen ist indess, diese Scheibe so anzubringen, dass sie nach Belieben aufgesetzt oder weggenommen werden kann. Wird dieselbe überdiess mit einer Gradeintheilung versehen, wie es bei den grossen Instrumenten von Seibert und Krafft der Fall ist, so kann sie zugleich zu Winkelmessungen benutzt werden.

Der Beleuchtungsapparat. Nach dem, was oben über die Beleuchtung gesagt wurde, kann dieselbe nach zwei Richtungen verschieden sein, nämlich a) mit Rücksicht auf die Oeffnung der einfallenden Lichtkegel und b) mit Rücksicht auf die Neigung derselben. Ein vollständiger Beleuchtungsapparat muss folglich in diesen beiden Puncten jede wünschbare Modification gestatten.

In den meisten Fällen genügt dieser Anforderung schon ein Plan- oder Hohlspiegel von gewöhnlicher Grösse, wenn derselbe dem Object hinreichend genähert und überdiess seitlich verstellt werden kann. Ist das so erzielte Licht noch zu schwach, so kann die Convergenz der Strahlen durch Beleuchtungslinsen gesteigert werden. Die Begrenzung der einfallenden Lichtkegel geschieht in beiden Fällen durch Blendungen, welche unter dem Objecttisch befestigt oder in denselben eingesenkt sind.

Grössere Instrumente sind gewöhnlich mit Plan- und Hohlspiegel in gemeinsamer Fassung ausgerüstet und lassen jede beliebige Bewegung derselben im Raume oder wenigstens in der Verticalebene zu; kleinere besitzen gewöhnlich nur einen Hohlspiegel, welcher um seinen eigenen Mittelpunkt drehbar und zuweilen in der Richtung der Axe verschiebbar ist, — eine Vereinfachung, welche insofern zulässig erscheint, als die schiefe Beleuchtung doch nur in bestimmten Fällen Wichtigkeit erlangt und dann durch besondere Vorrichtungen erzielt werden kann. Dagegen ist eine noch weiter gehende Beschränkung der Spiegelbewegung, wie wir sie z. B. bei den kleinen Trommelstativen finden, unter Umständen mindestens unbequem zu nennen.

Bezüglich der Apparate zur Beleuchtung opaker Gegenstände verweisen wir auf das oben Mitgetheilte.

Die Blendungen. Es ist an und für sich klar, dass eine kleine Blendungsöffnung, welche beispielsweise um einen Millimeter von der Einstellungsebene absteht, die einfallenden Lichtkegel in gleicher Weise begrenzt, wie eine Oeffnung von doppeltem Durchmesser bei doppeltem Abstand. Theoretisch ist es also vollkommen gleichgültig, in welcher Weise und in welchem Niveau zwischen Spiegel und Object die Blendungen angebracht werden, wenn nur die Grösse der Oeffnung zu ihrem Abstand vom Object in dem gewünschten Verhältnisse steht. Die Praxis stellt jedoch die weitere Anforderung, dass der Blendungsapparat leicht und bequem zu handhaben sei, dass er ohne das Object zu verschieben die verschiedensten Nüancirungen der Beleuchtung gestatte und überdiess alles fremde Licht, welches vom Arbeitstisch oder Stativ reflectirt wird, vollständig ausschliesse.

Um diess zu erreichen, brachte man ursprünglich drehbare Scheiben mit grössern und kleinern Oeffnungen unter dem Objecttisch an, welche zuweilen auch in senkrechter Richtung verschiebbar waren. Die Oeffnungen sind so geordnet, dass sie beim Drehen nach einander in die Axe des Mikroskops fallen und also nach Belieben benutzt werden können. Wir finden, dass eine solche Vorrichtung, richtig construirt, auch heute noch dem beabsichtigten Zweck in befriedigender Weise entspricht; nur darf dieselbe nicht zu weit vom Objectträger abstehen. Zu diesem Behufe ist es zweckmässig, den Objecttisch von unten kugelförmig auszuhöhlen und der Blendungsscheibe eine entsprechende Wölbung zu geben. So sind z. B. die grössern Stative von Zeiss eingerichtet.

Neben diesen Drehscheiben kamen in neuerer Zeit die durch Oberhäuser eingeführten Cylinderblendungen mehr und mehr in Gebrauch. Es sind diess cylindrische Röhren mit gleichgeformter oder kegelförmiger Höhlung, welche nach oben in die grössere oder kleinere Blendungsöffnung übergeht; sie werden gewöhnlich einem ähnlich gestalteten grössern Cylinder, der sich in einer Hülse auf und nieder schieben lässt, aufgesetzt. Die Cylinderblendungen vereinigen alle Vorzüge der Drehscheiben und bieten überdiess die Annehmlichkeit, dass der ganze Apparat an einem Schlitten angebracht und nöthigenfalls mit diesem entfernt werden kann.

Die Vorrichtungen zum Abhalten der Centralstrahlen übergehen wir hier, da dieselben bereits früher Erwähnung gefunden. Auch auf die Beschreibung der complicirtern Blendungsapparate, wie sie manche englische Instrumente besitzen, glauben wir füglich verzichten zu dürfen.

- 98 Das Fussgestell. Dasselbe hat vor Allem die Bestimmung, dem ganzen Instrument die nöthige Stabilität zu geben; es darf also nicht zu klein und nicht zu leicht sein. Seine Form kommt nur insofern in Betracht, als bei gleicher Zweckmässigkeit verschiedener Gestelle das bequemere und compendiösere den Vorzug verdient. Als Mustermode'll darf wohl in dieser Hinsicht das Hufeisenstativ von Oberhäuser bezeichnet werden, welches mit grosser Solidität auch den Vorthail verbindet, dass der Beleuchtungsspiegel bis auf das Niveau des Arbeitstisches gesenkt werden kann, wodurch der nöthige Raum für andere Vorrichtungen gewonnen wird, die man allenfalls unter dem Objecttische anbringen will. Weniger bequem, weil nur für centrische Beleuchtung eingerichtet und darum höchstens für kleinere Instrumente ausreichend, ist das sogenannte Trommelstativ Oberhäuser's, welches auf einer mit Blei ausgegossenen Scheibe ruht, die mit dem Objecttisch durch eine cylindrische, vorn offene Röhre von gleichem Durchmesser in Verbindung steht. Andere Optiker verbinden ähnliche Scheiben durch eine oder zwei Säulen mit dem Objecttisch und dem ganzen obern Theil des Stativs; noch andere geben dem Fuss die Form eines Dreizacks, dessen Arme bald feststehen, bald zum Zusammenlegen eingerichtet sind u. s. w. Kleine Instrumente, namentlich die sogenannten

Reise- und Taschenmikroskope, werden zweckmässig so construirt, dass das Stativ auf den Deckel des Kästchens, welches zur Aufnahme desselben dient, aufgeschraubt werden kann. Für den täglichen Gebrauch möchten wir indess eine solche Einrichtung nicht empfehlen.

Länge und Stellung der Mikroskopröhre. Die meisten neu- 99
eren Optiker auf dem Continent geben der Mikroskopröhre von der Vorderfläche des Objectivs bis zur Endfläche des Oculars eine Länge von circa 200—220^{mm}, so dass die Gesammthöhe des Instruments ungefähr 300—360^{mm} beträgt. Hievon weichen nur die ältern grossen Mikroskope von Plössl und seiner Nachahmer (Pistor, Schiek) wesentlich ab, indem dieselben durch die ansehnliche Tubuslänge von c. 300^{mm} eine Höhe von c. 450^{mm} erhalten, so dass man bei gewöhnlicher Tischhöhe nur stehend damit arbeiten kann. Auch die englischen und amerikanischen Instrumente scheinen sich im Allgemeinen durch eine beträchtlichere Grösse auszuzeichnen, — nach unserm Dafürhalten gerade kein Vorzug.

Bei den grossen Stativen ist zuweilen die Einrichtung getroffen, dass das Mikroskoprohr mit dem Objecttisch um eine horizontale Axe gedreht und also beliebig geneigt werden kann. Damit soll zunächst eine bequemere Haltung des Kopfes, sodann eine horizontale Stellung der Mikroskopröhre für gewisse Untersuchungen ermöglicht werden. Uns scheinen jedoch diese Vortheile durch die Unbequemlichkeit, welche die Neigung des Objecttisches mit sich bringt, mehr als aufgewogen zu werden. Wo eine horizontale Stellung der Mikroskopröhre geboten ist, was doch im Ganzen selten vorkommt, lässt sich dieselbe ganz einfach herstellen, indem man das Instrument umlegt. Die Hufeisenstative eignen sich sogar vortrefflich hiezu, da die beiden Enden des Hufeisens mit dem Objecttisch einen schweren Dreifuss bilden.

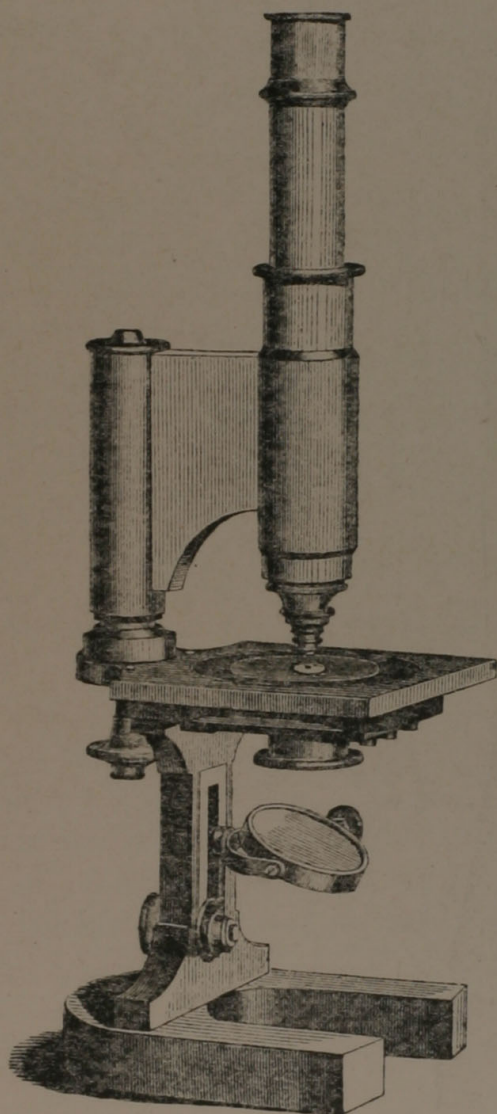
Sollen wir die wichtigsten Eigenschaften eines guten Stativs zusam- 100
menstellen, so verdient die solide und compendiöse Messingarbeit, ein fester, hinreichend grosser Tisch, ein um seinen Mittelpunkt frei beweglicher und seitlich verstellbarer Beleuchtungsspiegel mit einer ebenen und einer concaven Spiegelfläche, endlich eine zweckmässige Blendungsvorrichtung zuerst hervorgehoben zu werden. Die Verschiebbarkeit des Spiegels nach vorwärts und in senkrechter Richtung (die übrigens bei den meisten Instrumenten leicht einzurichten ist), namentlich aber die Drehbarkeit des Tisches um die Mikroskopaxe möchten wir erst in zweite Linie stellen; es sind diess Eigenschaften, die man nöthigenfalls auf einfache Weise ersetzen kann, erstere durch Anwendung eines Condensors, der allseitig schiefe Beleuchtung gestattet, letztere durch die viel wohlfeilere drehbare Scheibe auf dem Objecttisch. Wo indess die Form des Stativs die Herstellung einer möglichst freien Bewegung des Spiegels gestattet, ist dieselbe um so eher zu empfehlen, als das Mikroskop dadurch fast gar nicht vertheuert wird. Alle übrigen Eigenschaften und Vorrichtungen endlich, welche im Vorher-

gehenden erwähnt wurden, sind untergeordneter Natur und können bei den meisten Untersuchungen entbehrt werden.

II.

Die Stative der neuern Optiker.

101 Wir gehen nun an die Beschreibung der bekanntern Stativformen, welche gegenwärtig von den namhaften Mikroskopverfertign geliefert werden.



Figur 51.

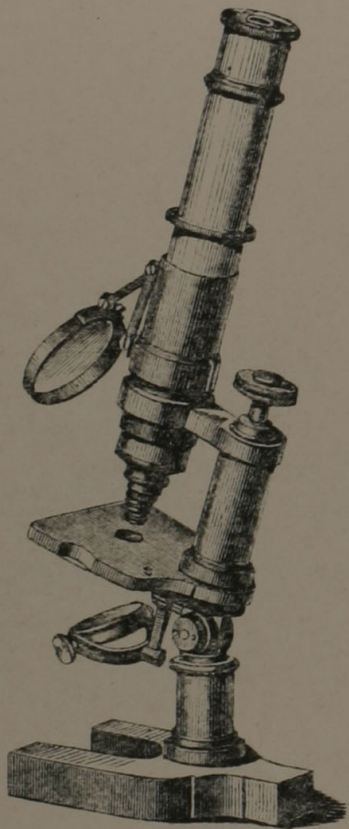
Dr. E. Hartnack und A. Prazmowski (Nachfolger von G. Oberhäuser) in Paris und Potsdam. Das grosse ältere Hufeisenstativ von Oberhäuser (Fig. 51), welches Hartnack ohne wesentliche Abänderungen beibehalten und mancher andere Optiker mehr oder weniger modificirt angenommen hat, wurde bereits oben als wahres Musterstativ bezeichnet. Es verdient diese Benennung, weil es, wie kein anderes, den Vorzug grösster Zweckmässigkeit mit einfacher Construction verbindet. Die grobe Einstellung geschieht durch Verschiebung des Rohres in einer Hülse, die feinere durch eine Mikrometerschraube, welche diese Hülse hebt und senkt. Der Tisch ist drehbar und an seiner Unterfläche mit einem Schlitten versehen, in welchen die Blendungen von unten eingeschoben werden; der Spiegel seitwärts und in senkrechter Richtung beweglich, auf der einen Seite mit ebener, auf der andern mit concaver Spiegelfläche.

In neuerer Zeit hat die Firma das Modell ihrer grossen Stative etwas verändert, indem sie unter Anderem

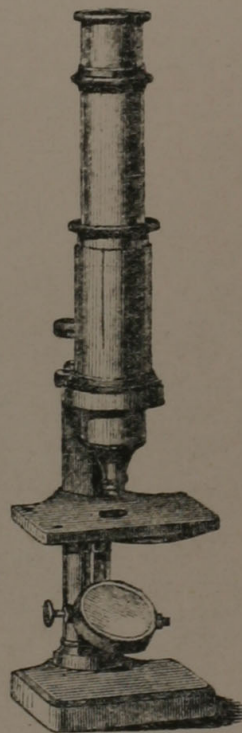
für die grobe Einstellung ein Triebwerk anbrachte. Dieses »neue grosse Mikroskop« ist im Preisverzeichniss unter Nr. VII aufgeführt.

Das mittlere Hufeisenstativ, Nr. VII, A des Preisverzeichnisses, ist dem grossen nachgebildet, jedoch in etwas kleinerem Maassstab. Namentlich ist der Objecttisch in merklich geringerer Höhe angebracht.

Das neue kleine Stativ (Nr. VIII) hat dieselbe Einrichtung, wie das vorhergehende, nur fehlt der drehbare Objecttisch. Da es für die meisten Untersuchungen vollkommen genügt, und mit einer vortrefflichen Ausstattung versehen wird, so ist es mit Recht sehr beliebt. Kann auch mit Charnier zum Umlegen (Fig. 52) bezogen werden.



Figur 52.



Figur 53.

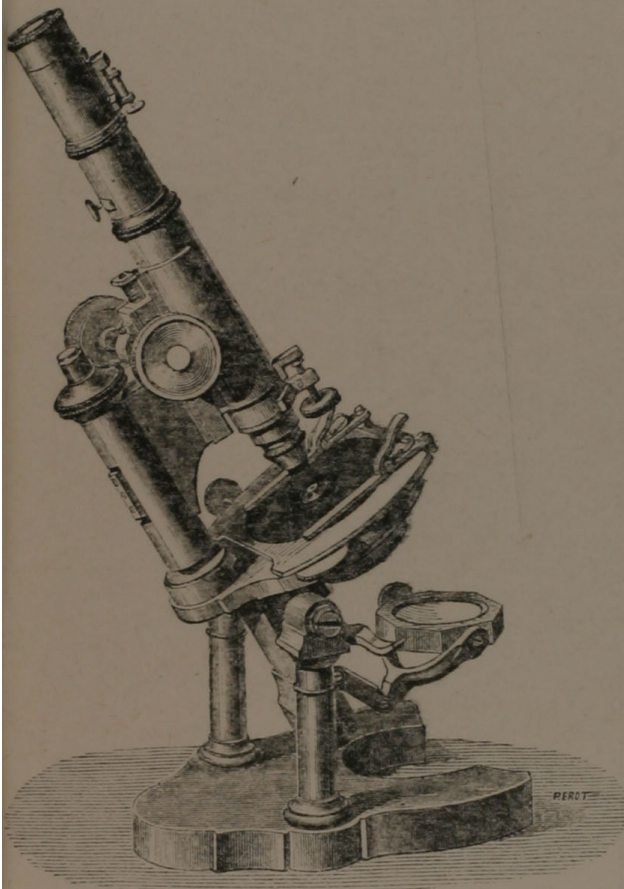
Sehr empfehlenswerth und beispielsweise für Studierende vollständig ausreichend, sind auch die Stative II, A, (Fig. 53) und III, welche gewöhnlich mit den Objectiven 4 und 7 ausgestattet werden. Dieselben besitzen einen festen, hinlänglich grossen Objecttisch und gestatten schiefe Spiegelstellung.

Alle diese Stative mit Ausnahme von II, A können auch mit zum Umlegen eingerichteter Säule bezogen werden.

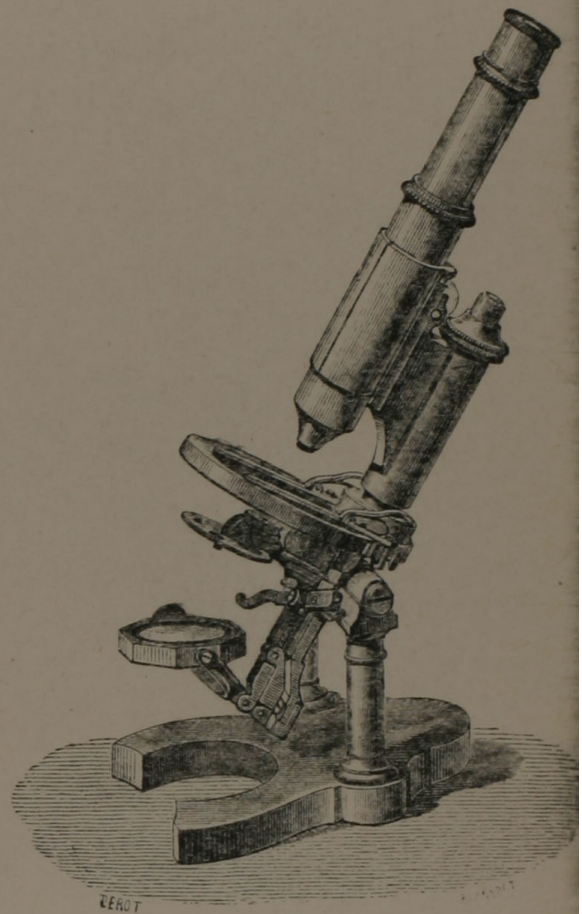
Nachet und Sohn in Paris. Die grössten und besten Mikroskope 102 dieser Firma haben ein Gestell, wie es in Fig. 54 dargestellt ist *).

*) Nachet hatte die Gefälligkeit, uns die Holzschnitte aus seinem neuesten Katalog zur Benutzung mitzutheilen.

ganze optische Apparat hängt an einer horizontalen Axe zwischen zwei Säulen und kann also aus der senkrechten Stellung in eine beliebig geneigte gebracht werden. Die grobe Einstellung geschieht durch Zahn und Trieb, die feinere mittelst zwei Mikrometerschrauben, wovon die eine, wie gewöhnlich, an der Säule, die andere unten am Tubus angebracht ist. Letztere bewirkt die Verschiebung einer innern Röhre, welche die Objective trägt und bei allfälligem Druck der Linsen auf das Präparat elastisch nachgiebt. Der Tisch ist drehbar und überdiess mit einer Vorrichtung zur seit-



Figur 34.



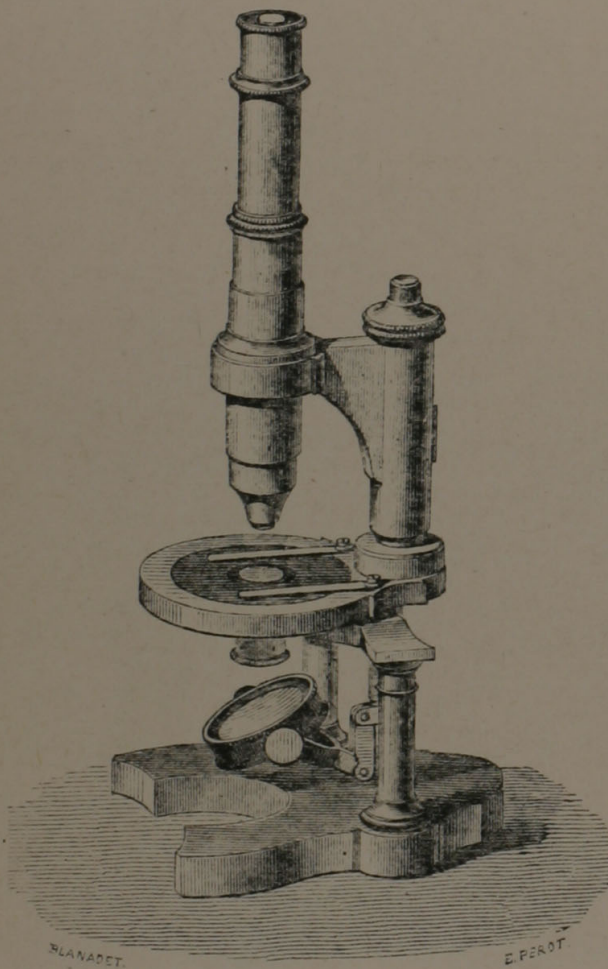
Figur 35.

lichen Verschiebung der Objecte mittelst Schrauben ausgestattet. Zwei Federklammern dienen zur Befestigung der Objectträger, ein Hebelapparat zur Auf- und Abbewegung der Blendungen und Condensatoren. Das Ocularmikrometer ist zum Einschieben eingerichtet und mit einer Schraube zur scharfen Einstellung für das Auge versehen.

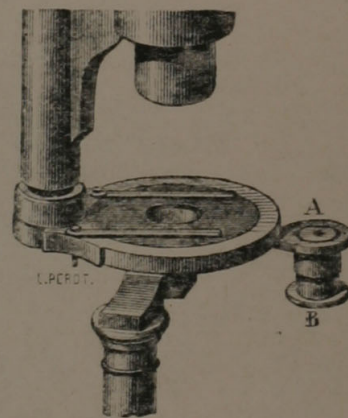
Ein etwas älteres Modell (Microscope grand modèle [Fig. 35]), das grösste des frühern Katalogs vom Jahr 1856, ist ähnlich construirt, jedoch ohne verschiebbare innere Röhre. Die Einstellung geschieht wie bei den grössern Hartnack'schen Instrumenten. — Dieselbe Construction zeigt im Wesentlichen auch das grosse verticale Mikroskop (M. grand modèle

droit [Fig. 36]); nur ist hier die Vorrichtung zum Einsetzen und Verschieben der Blendungen und des Condensators eine andere. Diese werden nämlich von unten in eine Hülse (Fig. 37) eingeschoben, welche am Objecttisch mittelst einer um einen peripherischen Punkt drehbaren Platte A befestigt ist.

Sehr zu empfehlen sind die im Katalog als Nr. 5—10 aufgeführten mittelgrossen und kleinen Stative mit und ohne Horizontalstellung (M. moyen modèle inclinant et droit [Fig. 58 u. 59], M. nouveau modèle inclinant, M. petit modèle inclinant et droit [Fig. 60 u. 61]).



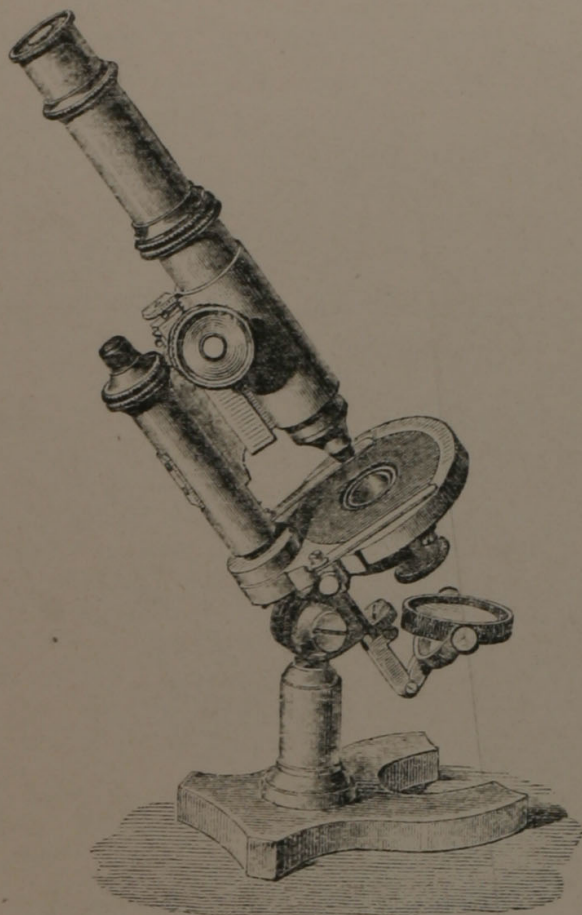
Figur. 36.



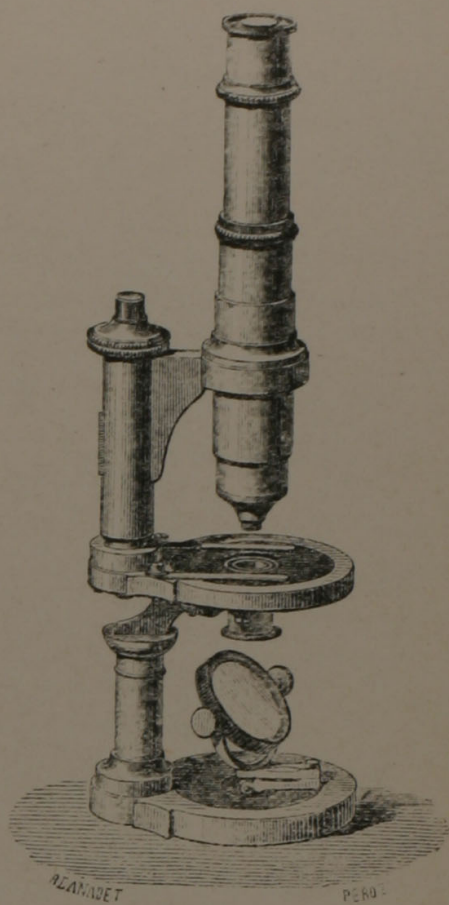
Figur 37.

Specielle Erwähnung verdient auch das Stativ, welches nach Belieben als zusammengesetztes oder als einfaches Mikroskop gebraucht werden kann (Fig. 62). Dasselbe besitzt einen langen Tisch und trägt auf der einen Seite den zur Aufnahme der Doublets bestimmten Arm, auf der andern eine Säule, welche sammt dem daran befestigten Tubus entfernt werden kann, wenn das Mikroskop als Simplex gebraucht werden soll.

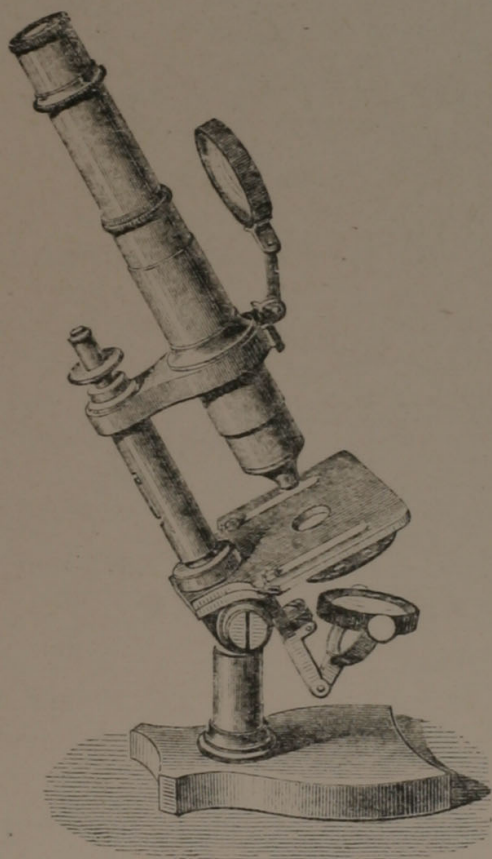
Ausserdem liefert Nachet auch stereoskopische binoculäre Mikroskope (Fig. 63), welche für beide Augen berechnet sind, sowie ferner



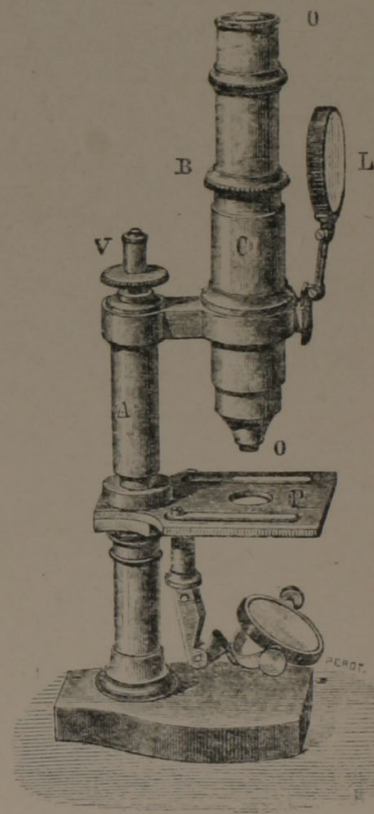
Figur 58.



Figur. 59.

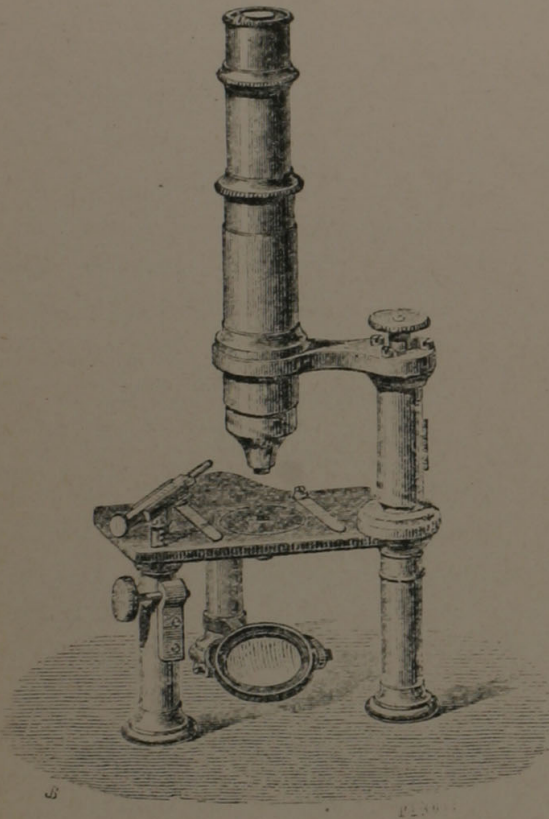


Figur 60.

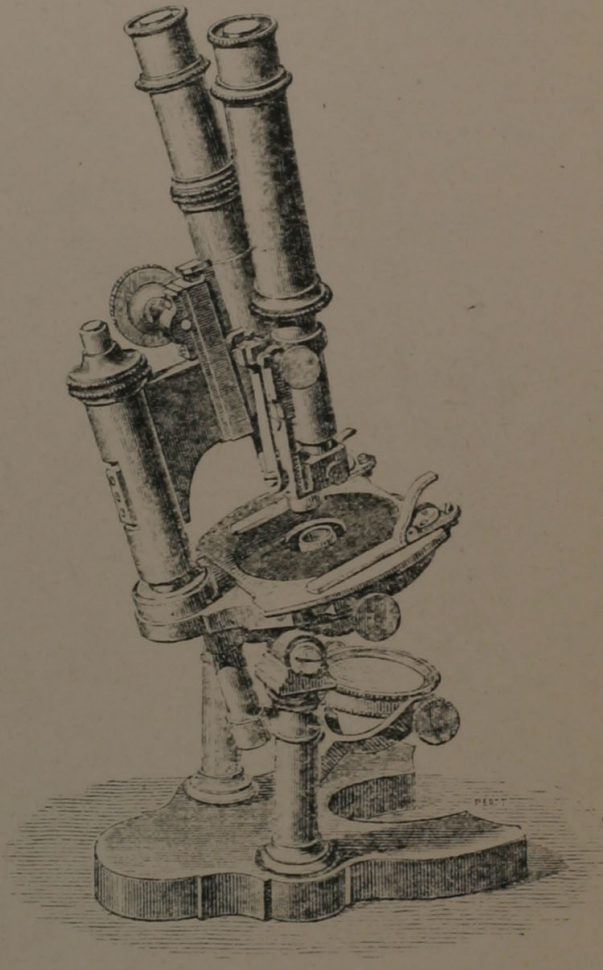


Figur 61.

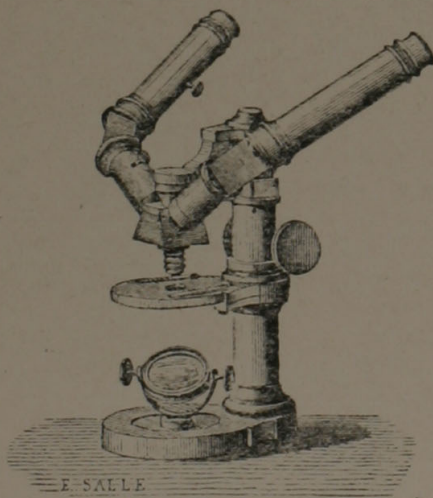
binoculäre und trioculäre, an denen zwei oder drei Personen zu gleicher Zeit beobachten können (Fig. 64). Alle diese Instrumente sind indess



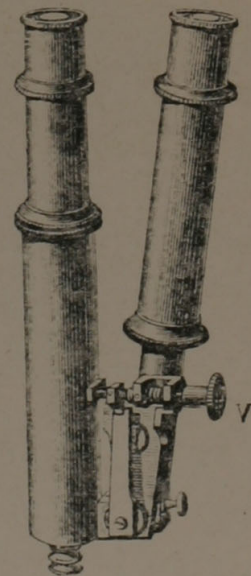
Figur 62.



Figur 63.



Figur 64.

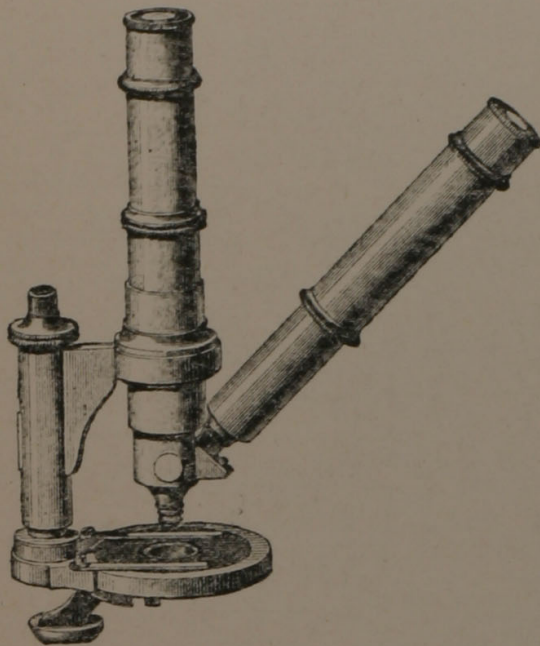


Figur 65.

zunächst nur für schwächere Vergrößerungen bestimmt; sie werden daher gewöhnlich nur mit den Objectiven Nr. 0, 4 und 3 ausgerüstet.

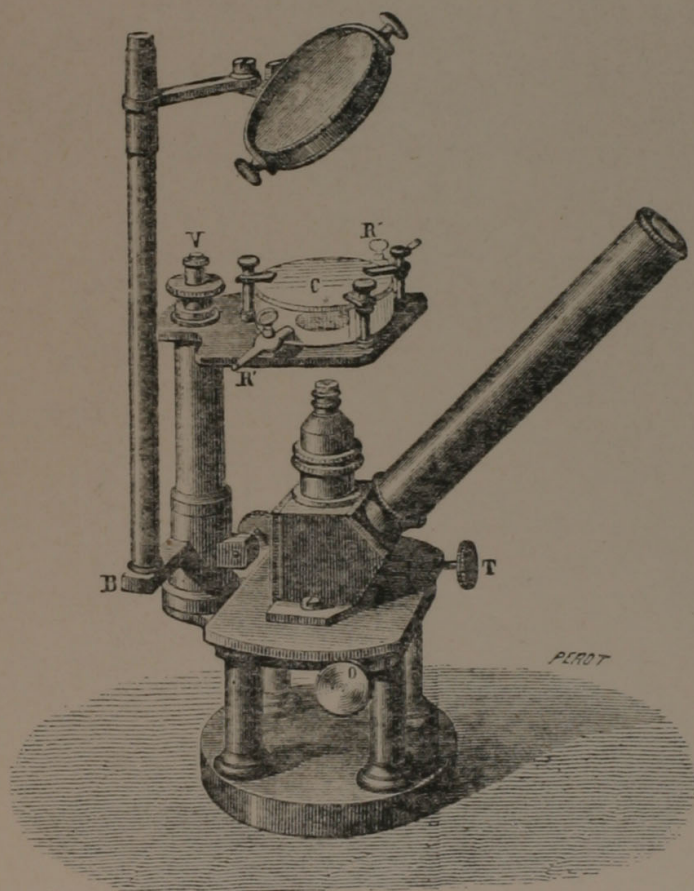
Der binoculäre Apparat (appareil binoculaire [Fig. 65]), gestattet die Umwandlung eines gewöhnlichen Mikroskops in ein stereoskopisches.

Eine ähnliche Vorrichtung dient zur Herstellung eines binoculären Mikroskops für zwei Beobachter (Fig. 66).



Figur 66.

Von eigenthümlicher Construction ist das für chemische Untersuchungen u. dgl. eingerichtete umgekehrte Mikroskop, bei welchem der Beleuchtungsspiegel über und das Objectivsystem unter dem Objecttisch angebracht ist, um dadurch der Beschädigung der Linsen durch Dämpfe, Säuren etc. vorzubeugen. Nächst verfertigt gegenwärtig drei verschiedene Modelle dieser Art, von welchen in Fig. 68 das älteste (*M. renversé*

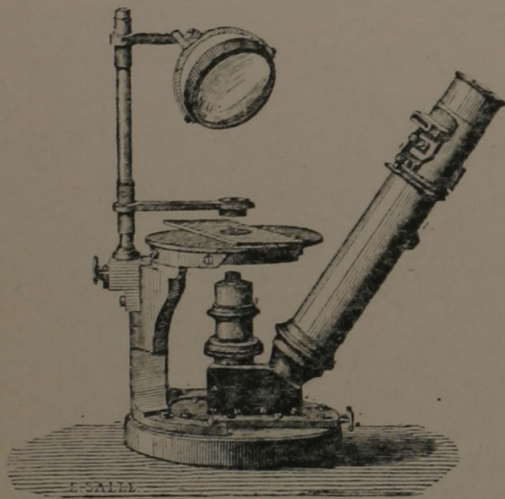


Figur 67.

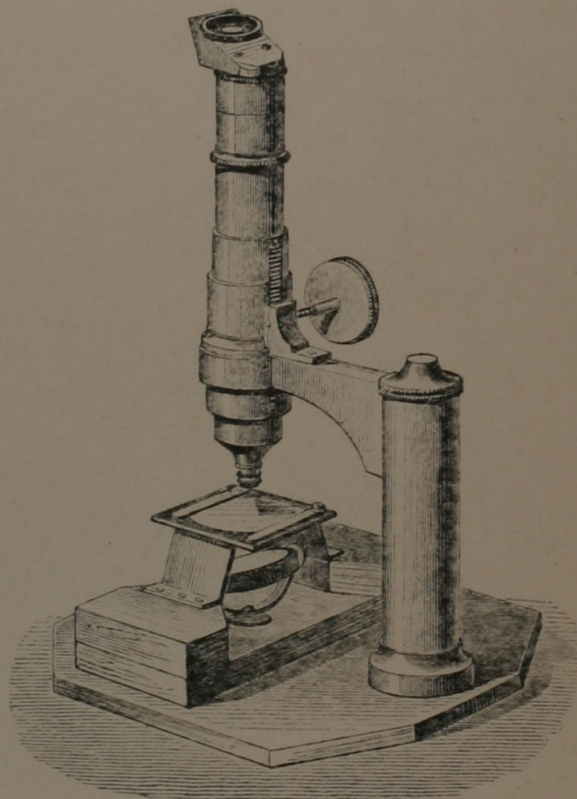
pour les études de chimie) und in Fig. 67 eines der neuern (*nouveau M. renversé*) dargestellt ist. Bei jenem ruht der Mikroskopkörper auf einem scheibenförmigen Fuss und kann mittelst eines Schlittens unter dem Objecttisch hervorgezogen werden; die Herumlendung der Strahlenbündel geschieht durch zweimalige innere Reflexion in einem entsprechend geschnittenen Prisma. Bei diesem ist die Einrichtung etwas complicirter. Das Objectiv kann nämlich mittelst der Schrauben *O* und *T* verschoben werden, und der Tisch ist mit einer cylindrischen Glaszelle *C* aus-

gestattet, an welcher bei *R* und *R'* Kautschukschläuche etc. angebracht

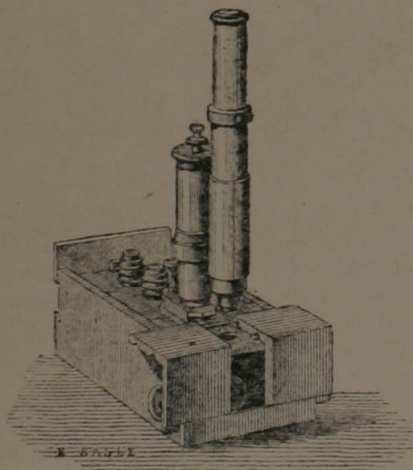
werden können. — Daneben hat Nacet noch ein besonderes Präparirmikroskop für Laboratorien (M. de dissection pour laboratoire [Fig. 69]) construiert, welches mit einem bildumkehrenden Oculare versehen ist und c. 8—70mal vergrössert. Der in der Figur dargestellte Objecttisch mit Holzfuss ist zur Beobachtung bei durchfallendem Lichte bestimmt und kann nach Belieben entfernt und durch Glasgefässe, Korkplatten etc. ersetzt werden.



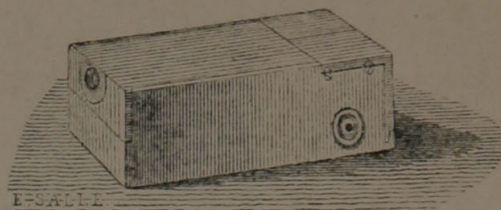
Figur 68.



Figur 69.



Figur 70.



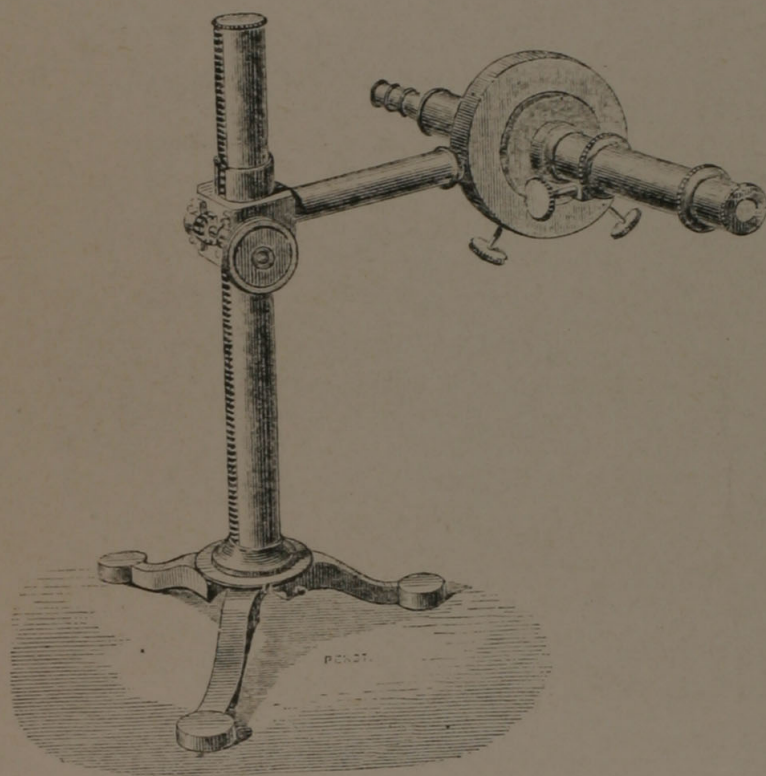
Figur 71.

Sehr sinnreich ist ferner das Taschenmikroskop Nacet's (Fig. 70) eingerichtet. Dasselbe kann in ein Kästchen von 90^{mm} Länge und 50^{mm} Breite (Fig. 71) eingepackt werden und besitzt ein Rohr von nur 44^{mm} Durchmesser und (wenn die innere Röhre ausgezogen ist) 40 Centimeter Länge, ist aber dessenungeachtet für die meisten Untersuchungen vollkommen ausreichend, da es mit den nämlichen Objectiven ausgestattet wird, wie die grössern Instrumente und überdiess einen hinlänglich grossen Objecttisch besitzt.

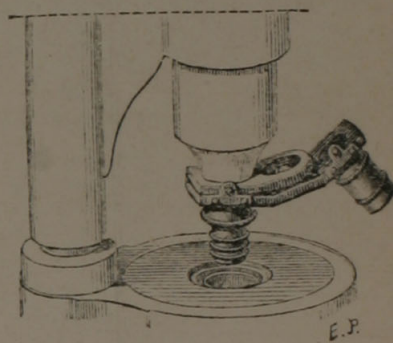
Im neuesten Katalog von 1872 figurirt auch zum ersten Mal ein horizontales Mikroskop (M. monté sur pied, Fig. 72), dessen Tubus mittelst Triebwerk auf und nieder bewegt und durch Stellschrauben eingestellt werden kann. Dasselbe eignet sich namentlich zur Messung von Abständen in senkrechter Richtung, zur Durchmusterung verticaler Flächen u. dgl.

Endlich verdient noch der Revolver-Objectivträger (Revolver porte-objectif [Fig. 73]) hier erwähnt zu werden. Derselbe gestattet Objective von verschiedener Stärke während der Beobachtung rasch zu wechseln, indem man sie um eine schief stehende Axe dreht.

103 Arthur Chevalier in Paris. Der neueste Katalog enthält 44 Nummern zusammengesetzter Mikroskope, deren Stative im Allgemeinen mit



Figur 72.



Figur 73.

denen Nachet's übereinstimmen. Nur sind die beiden Säulen, welche bei den grossen Modellen den Körper des Mikroskops tragen, vierkantig und dabei S-förmig gebogen; die Bewegung der Blendungen und Condensatoren geschieht durch ein Triebwerk; der Tubus ist ausziehbar etc. — Die kleinern Instrumente (Nr. 4—5 des Katalogs) unterscheiden sich fast nur durch die abweichende Form des Fusses.

104 Plössl und Comp. in Wien. Das Plössl'sche grosse Mikroskop ruht auf einem kreisrunden messingenen Postament und kann auf demselben mittelst eines horizontalen Armes um seine Axe gedreht werden. Mit diesem Arm steht nämlich die dreikantige Stange in Verbindung,

welche den unbeweglichen Objecttisch und das durch Triebwerk verschiebbare Rohr trägt. Die feinere Einstellung, wie sie bei den starken Vergrösserungen nothwendig wird, geschieht durch eine Mikrometerschraube. Der concave, auf der Rückseite geschwärzte Beleuchtungsspiegel ist mit einem beweglichen Doppelarme versehen und nach allen Richtungen der Ebene verstellbar. Zur Beleuchtung mit auffallendem Licht dient ein sphärisches Prisma nach Sellig u e, zur Verstärkung des Lichtes (vorzugsweise des Lampenlichtes) eine Beleuchtungslinse mit besonderm Fusse. Der obere Theil der ungewöhnlich langen Mikroskopröhre kann abgeschraubt und nach Einschaltung eines Prisma rechtwinklig angesetzt werden, wodurch zunächst das Horizontal-Einsehen während der Beobachtung, zugleich aber auch bei Anwendung des Sömmering'schen Spiegelchens das Projiciren des Bildes auf die Ebene des Arbeitstisches möglich gemacht wird. Die Ocularmikrometer mit Theilungen der Wiener Duodecimallinie in 30 und 50 Theile oder des Millimeters in 25 und 50 Theile sind zum Einschieben in das Ocular Nr. 2 eingerichtet und können mittelst einer an der Fassung der Ocularlinse angebrachten Schraube scharf eingestellt werden. Das ganze Instrument ist c. 150^{mm} höher als die meisten andern Mikroskope, so dass man an einem Tisch von gewöhnlicher Höhe nur stehend damit arbeiten kann. — Aehnlich, nur in etwas kleinerm Maassstab, ist auch Plössl's mittleres Mikroskop construirt.

Die ältern grossen Stative mit einem zum Zusammenlegen eingerichteten Dreifuss sind in den neuern Preisverzeichnissen nicht mehr aufgeführt.

Plössl's kleines Mikroskop ist dem grossen nachgebildet, nur fehlt der horizontale Arm zur Rotation um die Mikroskopaxe und die Mikrometerschraube zur feinem Einstellung. Die dreikantige Stange, welche Tisch und Rohr trägt, ist hier unbeweglich mit dem runden messingenen Postamente verbunden und die Einstellungs Vorrichtung auf ein Triebwerk beschränkt. Die Dimensionen sind durchgehends beträchtlich kleiner als beim grossen Mikroskop, sodass die Gesammthöhe des Stativs nur etwa 30^{mm} mehr beträgt als bei den Mikroskopen von Hartnack, Bénéche etc.

Die Firma führt überdiess ein grosses und ein kleines Präparirmikroskop nach Plössl, welche beide aufrechte Bilder liefern, ein Reisemikroskop u. s. w. Ueberdiess hat dieselbe ausser den eben erwähnten Plössl'schen Stativformen in ihren neuesten Katalog noch eine ganze Reihe neuer Modelle — grosse, mittlere und kleinere — aufgenommen, welche in den Hauptpuncten den bekannten Stativen von Nachet, Hartnack etc. nachgebildet sind.

F. W. Schieck in Berlin liefert Mikroskope von sehr verschiedener 105 Grösse, früher zum Theil nach Plössl'schen Modellen, die grössern gegenwärtig nur noch mit Hufeisenstativen. Die Messingarbeit ist überall vortrefflich ausgeführt.

- 106** **L. Bénèche** in Berlin. Die grössern Instrumente haben das Oberhäuser'sche Hufeisenstativ (mit oder ohne drehbaren Tisch) und werden auf Verlangen auch zum Umlegen eingerichtet; die kleinern, welche zu 30 und 60 Mark angesetzt sind, stehen auf einem runden Fuss und besitzen einen Objecttisch mit Mikrometerbewegung nach Nobert. Der Tisch hängt nämlich mit zwei Stiften, wie eine Klappe in ihren Angeln beweglich, an der Stange des Stativs und wird zum Behuf der feinen Einstellung durch eine Schraube etwas gehoben oder gesenkt.

Ausserdem fertigt Bénèche auch ganz kleine Mikroskope nach dem Modell von Lerebours in Paris, wo die eine Seitenwand und der Boden des Kastens mit zum Stativ gehören.

- 107** **Carl Zeiss** in Jena führt verschiedene grosse und ein kleines Hufeisenstativ nach Oberhäuser, dazu mittlere und kleinere Stative mit rundem oder abgestumpft-viereckigem Fuss nach eigener Construction. Die grossen Instrumente haben Cylinderblendungen, welche an einem Schlitten oder an einem beweglichen Arme angebracht sind; bei den kleinern besteht der Blendungsapparat aus einer drehbaren gewölbten Scheibe, deren Oeffnungen unmittelbar unter den Objectträger zu liegen kommen. Die Mikrometerbewegung ist durchweg an der Tubussäule, nur bei V_b am Objecttisch angebracht; der Spiegel der kleinsten Stative in der Axe fixirt, bei den übrigen wenigstens seitlich oder auch nach vorn verstellbar.

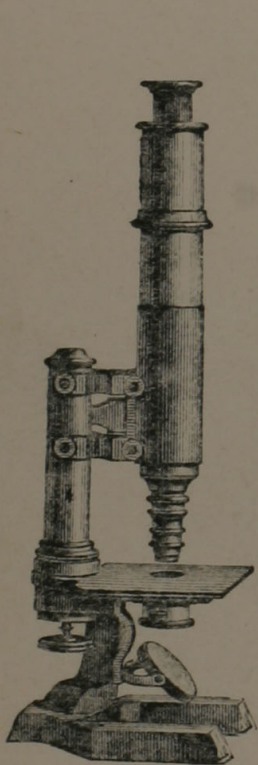
Besondere Erwähnung verdienen die Aenderungen, welche Zeiss neuerdings für seine grössern Stative adoptirt hat. Am neuen Stativ *O* sind nämlich die Cylinderblendungen in der schon oben angedeuteten Weise an einem Arme befestigt, der mittelst Zahn und Trieb auf und nieder bewegt und um eine seitlich stehende Säule vor- und zurückgeschlagen werden kann. In dieser letztern Stellung werden die Blendungen gelassen, wenn statt ihrer der Abbe'sche Beleuchtungsapparat zur Anwendung kommt. — Das Stativ *I*, welches früher mit einer drehbaren Blendungs-scheibe ausgestattet war, hat jetzt Cylinderblendungen in gewöhnlicher Form mit Schlitten. Die grobe Einstellung wird bei *I* und *O* nicht mehr, wie früher, durch Tubusverschiebung, sondern durch Zahn und Trieb bewerkstelligt. Beide Stative werden übrigens nach wie vor auch in der ältern Form construirt.

In neuester Zeit haben wir auch ein von Zeiss verfertigtes Reismikroskop*) kennen gelernt, welches alle Empfehlung verdient. Dasselbe zeichnet sich namentlich dadurch vortheilhaft aus, dass es ein normales Stativ besitzt und doch nur einen sehr kleinen Raum beansprucht.

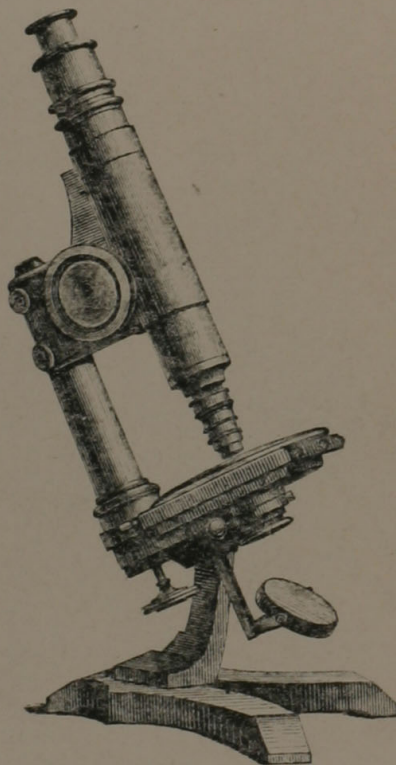
*) Der Besitzer dieses Mikroskops, Prof. Strasburger in Jena, hat dasselbe auch auf der Naturforscherversammlung in Graz vorgezeigt. — Nach einer brieflichen Mittheilung von Zeiss stellt sich der Preis eines solchen Instruments, inclusive Revolver für 4 Objective, einer kleinen Sammlung von Utensilien und eines Linsensystems zum Präpariren — aber ohne weitem optischen Zubehör — auf 450 Mark.

E. Leitz (Nachfolger von **C. Kellner**) in Wetzlar. Wir kennen die 108 neuern Mikroskope dieses Instituts nur aus dem Preisverzeichniss und den beigegebenen Abbildungen. Hienach wird die grobe Einstellung bei den grossen Stativen durch Zahn und Trieb, bei den mittlern und kleinen durch Tubusverschiebung bewirkt. Die feine Einstellung geschieht durch eine Mikrometerschraube an der Säule oder am Tisch. Die meisten Stative sind für schiefe Beleuchtung eingerichtet, die grössern überdiess um die optische Axe drehbar.

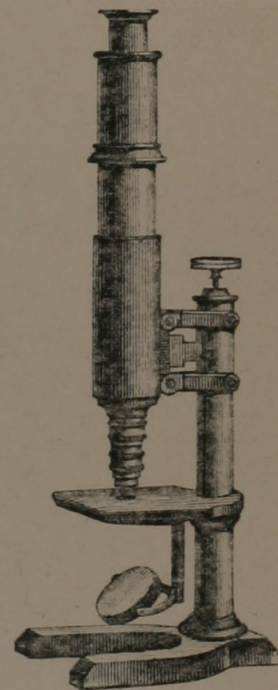
Seibert und Krafft in Wetzlar (**E. Gundlach's** Nachfolger, früher 109 in Charlottenburg bei Berlin). Verfertigen Stative von sehr verschiedener



Figur 74.



Figur 75.



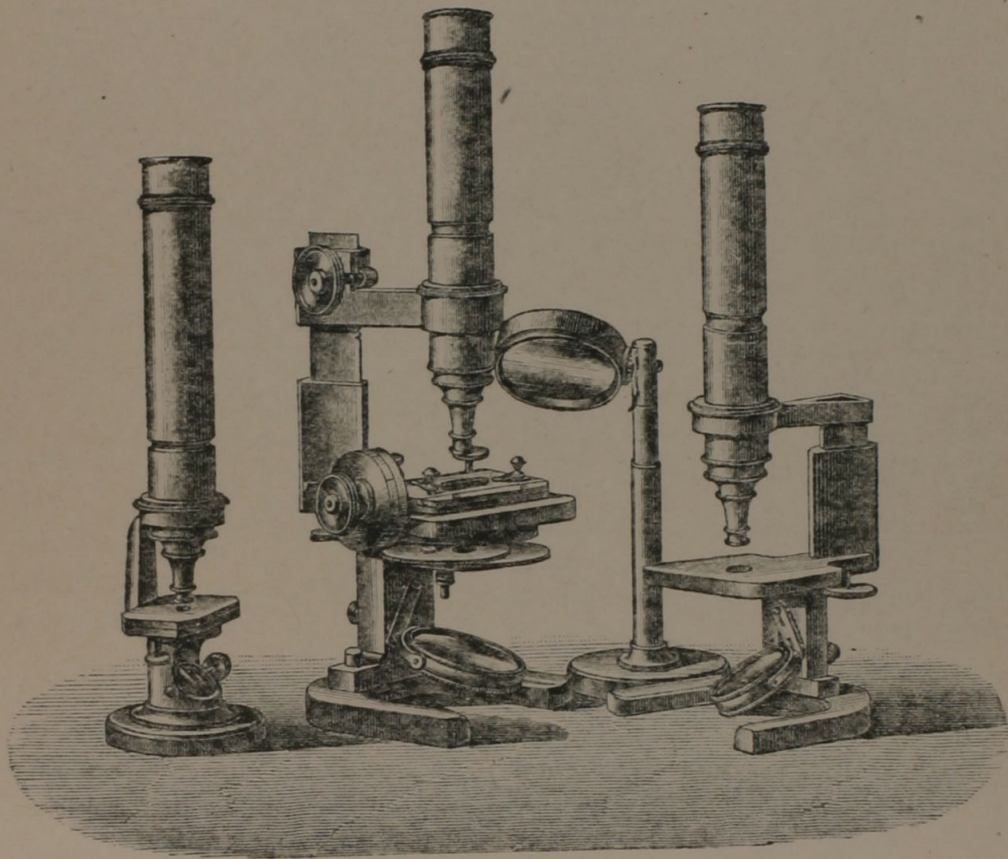
Figur 76.

Grösse (Fig. 74—76), die grössten mit allen nur wünschbaren Beigaben, dazu mit zwei bis drei verschiedenen Einstellungsrichtungen, die feinen Einstellungen nach eigener Erfindung ohne Friction. Der Tubus hängt nämlich an zwei unter sich parallelen Armen, deren Endpunkte sowohl mit der Säule als mit dem Tubus selbst beweglich verbunden sind. Diese Arme stehen bei mittlerer Einstellung genau horizontal; wird dagegen der Tubus mittelst der Mikrometerschraube, welche auf einen quer vorspringenden Fortsatz wirkt, gehoben oder gesenkt, so nehmen auch die beweglichen Arme eine schwach schiefe Lage an. Der durch die Schraube bewirkte Bewegungsvorgang entspricht hienach der Verschiebung eines Parallelogramms, dessen eine Seite in senkrechter Stellung unbeweglich bleibt,

während die opponirte unter Beibehaltung des Parallelismus eine kleine Hebung oder Senkung erfährt. Da die Verschiebung zwischen den Spitzen von 8 Schrauben stattfindet, so ist das Hin- und Herrücken des Bildes gänzlich vermieden und die Reibung auf ein Minimum reducirt. In Folge dessen dreht sich auch die Mikrometerschraube sehr leicht und nach beiden Seiten mit gleichem Widerstand; der todte Gang ist beseitigt (vgl. die Schlussbemerkungen zur Aufzählung der Stativformen).

Unter den mittlern Stativen erscheint uns namentlich Nr. 5 (mittleres festes Mikroskop, Fig. 74) besonders empfehlenswerth. Auch Nr. 7 (einfaches Mikroskop, Fig. 76) genügt noch vollständig den Anforderungen, die man an Mikroskope für Studierende zu stellen pflegt.*)

110 G. und S. Merz in München. Die grössern Stativ dieser Firma sind mit Hufeisenfuss und Trieb für die grobe Einstellung ausgestattet.



Figur 77.

Die Mikrometerschraube für die feine Einstellung wirkt mit Ausnahme von Stativ Nr. 3, wo sie am Tische angebracht ist, auf die dreikantige Säule des Mikroskops. Die drei Hauptstativformen sind in Fig. 77 dargestellt.

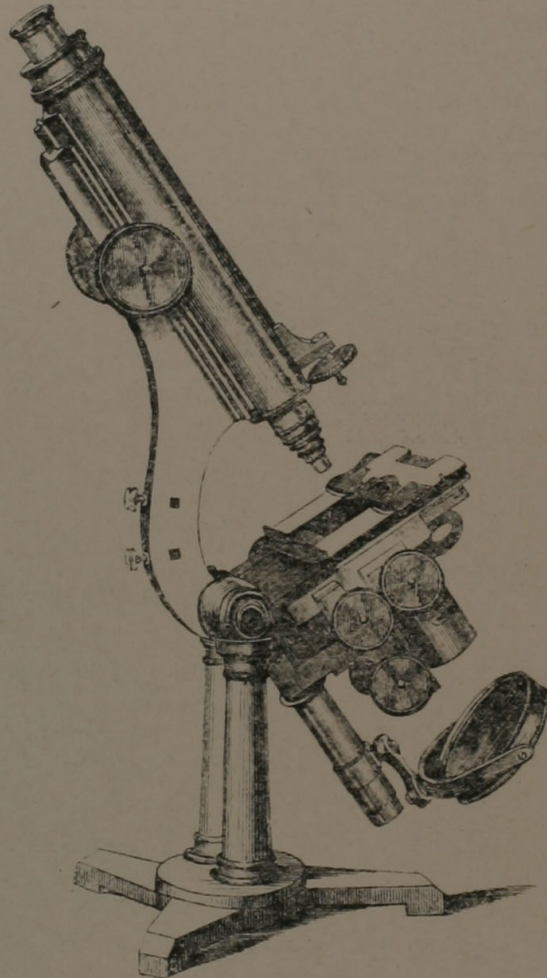
111 Smith, Beck und Beck in London. Als Beispiel eines complicirten englischen Stativs mag hier noch das grosse Mikroskop der genannten Firma

*) Statt des im Katalog erwähnten runden Messingfusses zeigt die uns vorliegende Photographie dieses Stativs einen Hufeisenfuss.

Erwähnung finden. Dasselbe ist in Fig. 78 dargestellt. Der Körper des Mikroskops hängt an einer horizontalen Axe zwischen zwei Säulen und kann also beliebig geneigt oder horizontal gestellt werden. Die grobe Einstellung der Mikroskopröhre wird durch ein Triebwerk, dessen geränderte Knöpfe in der Mitte des Tubus angebracht sind, in der Art bewirkt, dass die am Tubus befestigte Stange sich in einer entsprechenden Rinne des gebogenen Armes bewegt. Zur feineren Einstellung dient die etwas tiefer stehende Mikrometerschraube, durch welche ein ausziehbares Stück des Rohrs sich auf und nieder schieben lässt. Der Objecttisch ist mit Schrauben und Schlitten reichlich bedacht und kann mittelst derselben nach allen Richtungen bewegt werden; derselbe gestattet überdiess die Einfügung eines achromatischen Condensors.

Ausser den vorstehend genannten Firmen bestehen in Deutschland noch eine ganze Reihe, welche zum Theil recht gute Instrumente liefern. Da jedoch die Formen der Stative den bisherigen nachgebildet sind oder wenigstens keine nennenswerthen Neuerungen zeigen, so verzichten wir auf deren specielle Aufzählung und verweisen in diesem Betreff auf die als Anhang beigegebenen Preisverzeichnisse.

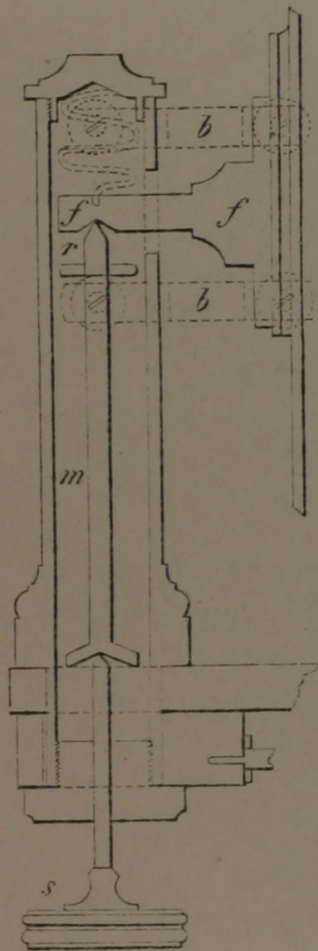
Dagegen mag nachträglich eine specielle Hervorhebung einzelner in der Einleitung übergangener Punkte, welche nach unsern Erfahrungen bei der Beurtheilung der Stative besondere Beachtung verdienen, nicht ganz überflüssig sein. Wir legen in erster Linie einiges Gewicht auf genaue und dauerhafte Metallarbeit. Es ist nicht gleichgültig, ob die Schraubengewinde, die Einstellungsrichtungen u. dgl. viele Jahre hindurch unverändert bleiben oder ob sie schon nach kurzer Zeit schadhaft oder doch unbequem werden. Mit Rücksicht hierauf haben wir uns in der rühmlichst bekannten Werkstätte von C. Zeiss in Jena überzeugen können, wie viel genauer die Stativtheile, wie z. B. die Säule und ihre Hülse, Triebstangen, Schlitten etc. sich herstellen und zusammenpassen lassen,



Figur 78.

wenn die Bearbeitung des Metalls mittelst Fraise-Einrichtungen, statt durch Drehen oder Hobeln geschieht. *)

Was sodann die speziellen Vorzüge betrifft, die ein gutes Stativ besitzen soll, so gehört vor Allem hieher 1) die solide Mechanik der Einstellungsrichtungen, die immer noch Manches zu wünschen übrig lassen. Das Hin- und Herrücken des Bildes, der todte Gang der Schraube u. dgl. sind allbekannte Uebelstände, die sich bei ältern Stativen ziemlich regelmässig einstellen. Auch in diesem Punkte haben wir in der



Figur 78.

Werkstätte von Zeiss einige Verbesserungen kennen gelernt, die sich voraussichtlich bewähren werden; nur darf man nicht erwarten, dass die Folgen der Reibung, welche nun einmal der bisherige Constructionsmodus mit sich bringt, durch kleine Aenderungen an einzelnen Constructions-theilen je gänzlich beseitigt werden können. — Ob die oben erwähnte Einstellungsrichtung von Seibert und Krafft, die an den uns bekannten neuen Instrumenten sich vortheilhaft empfiehlt, die Probe längern Gebrauchs besteht, muss die Zeit lehren. Soweit indess das in Fig. 79 veranschaulichte Constructionsprincip hierüber ein Urtheil gestattet, ist jedenfalls die Reibung auf ein Minimum reducirt. Die Mikrometerschraube *s* wirkt nämlich auf den trichterförmigen Kopf des Stiftes *m*, dessen oberes Ende in ähnlicher Weise mit dem Tubusfortsatze *ff* in Verbindung steht. Der Ring *r*, welcher als Führung dient, liegt ganz lose in der hohlen Säule und berührt den Stift in der Regel nicht; er hat bloss den Zweck, eventuell das Heraustreten der Stiftspitze aus der Vertiefung des Tubusfortsatzes zu verhindern. Besitzen nun noch die Querarme

bb, welche mit Tubus und Säule das verschiebbare Parallelogramm bilden, hinlänglich solide Gelenkverbindungen, so ist ein Schlottern des Tubus voraussichtlich nicht zu befürchten.

Sehr bequem ist 2) eine möglichst practische Einrichtung des Objecttisches, welche unter Anderem auch extreme schiefe Beleuchtung gestattet. Zu diesem Behufe sollte die Tischplatte von unten ausgehöhlt, d. h. verdünnt sein, weil sonst die Neigung der Strahlen durch den untern Oeffnungsrand auf ein allzu geringes Maass beschränkt wird.

*) Beim Fraisen wird der zu bearbeitende Gegenstand unbeweglich eingespannt und dafür das angreifende Instrument in Bewegung gesetzt; beim Drehen dagegen findet bekanntlich das Umgekehrte statt.

Selbstverständlich müssen dann auch die Blendungen, Schlitten etc. zum Wegnehmen eingerichtet sein, was übrigens bei manchen grössern Instrumenten bereits der Fall ist. — Bezüglich der übrigen Zugaben zum Tisch, die man in den Preisverzeichnissen erwähnt findet, so vermissen wir fast ausnahmslos noch eine Vorrichtung, welche bei Untersuchungen im polarisirten Licht nicht bloss die gekreuzten Nicols, sondern auch die verschiedenfarbigen Gypsblättchen unbeweglich anzubringen und bloss das Object nach Belieben um eine verticale Axe zu drehen gestattet. Die drehbare Scheibe entspricht dieser Anforderung nur dann, wenn zwischen ihr und dem Tisch der nöthige Raum zur Aufnahme der Gypsblättchen reservirt bleibt oder wenigstens leicht herstellbar ist.

Von weitem Annehmlichkeiten erwähnen wir nur noch die Verstellbarkeit des Spiegels. Die ältern Einrichtungen, welche diesem Zwecke dienen, sind bekannt. In neuerer Zeit haben Nachet, Zeiss u. A. auch eine Verschiebung nach vorn, nicht bloss von rechts nach links, in Anwendung gebracht, — eine Neuerung, welche unter Umständen die Herstellung der gewünschten schiefen Beleuchtung sehr erleichtert.

Im Uebrigen haben die Stative deutscher und französischer Optiker schon jetzt einen solchen Grad der Vervollkommenung erreicht, dass sie billigen Anforderungen innerhalb der gewöhnlichen Gebrauchssphäre vollständig genügen. Für aussergewöhnliche Untersuchungen aber, beispielsweise in physikalischer Richtung, ist ohnehin eine allgemein zweckdienliche Ausrüstung nicht denkbar; hier wird unter allen Umständen diese oder jene Ergänzung der bestehenden Einrichtungen nothwendig sein.

Dritter Abschnitt.

Von der Prüfung des Mikroskops.

I.

Prüfung des optischen Vermögens im Allgemeinen.

- 113** Nachdem wir in einem frühern Kapitel gezeigt haben, dass alle Eigenschaften, welche das optische Vermögen eines Mikroskops und damit auch die Schärfe und Klarheit seiner Bilder bedingen, sich einerseits auf das Freisein von beiden Arten der Aberration, andererseits auf die Grösse des Oeffnungswinkels basiren, könnten wir füglich auch die Prüfung des Instrumentes auf diese beiden Punkte und auf die Bestimmung der Vergrösserungsziffer beschränken. Zur Beurtheilung eines Mikroskops ist sogar hierüber eine genaue Orientirung nicht einmal nothwendig, da es sich einfach darum handelt, ob dasselbe die Vergleichung mit andern bekannten Instrumenten aushalte, ob es überhaupt den Anforderungen entspreche, die man gegenwärtig an die Mikroskopverfertiger zu stellen berechtigt ist. Mit dieser vorzugsweise praktischen Frage wollen wir uns zu allernächst beschäftigen und erst nach Erledigung derselben den einzelnen Factoren nachgehen, welche bei einer speziellern Prüfung in Betracht kommen.

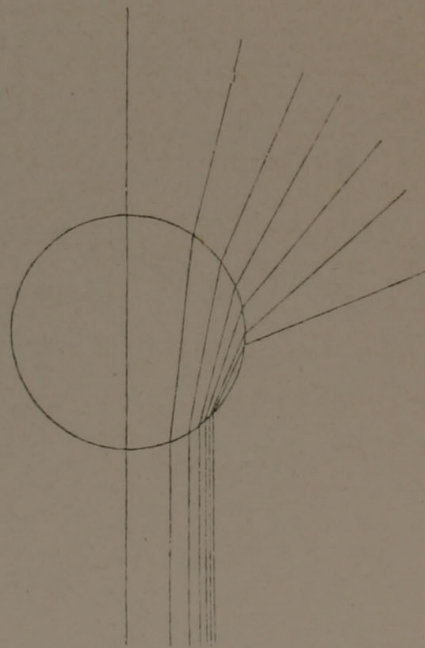
1. Absolutes Unterscheidungsvermögen.

- 114** Wie kann also, fragen wir zuerst, die Güte eines Mikroskops taxirt werden, wenn man es vermeiden will, alle Eigenthümlichkeiten und Fehler der Construction zu prüfen, von denen sie abhängt? Gewöhnlich geschieht diess, wie bekannt, durch die sogenannten Probeobjecte, von denen man weiss, dass gewisse Details bei einer bestimmten Vergrösserung durch die bessern Instrumente noch gelöst werden, während die weniger guten sie entweder gar nicht oder nur undeutlich zur Wahrnehmung bringen. Wir wollen auch nicht in Abrede stellen, dass die auf diesem Wege gewonnenen Anhaltspunkte vollständig ausreichen, um die Leistungsfähigkeit eines gegebenen Instrumentes im Ganzen genommen richtig zu beurtheilen. Man darf aber nicht vergessen, dass gerade diese Testobjecte leicht zu einer

durchaus einseitigen Auffassung des optischen Vermögens führen können, weil ja die Lichtbündel, durch deren Interferenz die entscheidenden Details des Objectes zur Abbildung kommen, bei der gewöhnlich angewandten Beleuchtung nur eine schmale peripherische Randzone des Objectivs durchsetzen und folglich über den ganzen mittlern Theil der brechenden Flächen keinerlei Aufschluss gewähren. Man lernt also in der Regel bloss die Auflösungsgrenze, nicht die optische Kraft im Allgemeinen kennen. Dasselbe gilt natürlich auch von den Drahtnetzbildchen kleiner Luftblasen u. dgl., wenn die Maschen bis zur Grenze der Unterscheidbarkeit verkleinert werden. Das mikroskopische Bild ist auch in diesem Falle ein Interferenzbild, das in seinen Details ausschliesslich von Lichtbüscheln herrührt, welche den äussersten Rand der Objectivöffnung streifen. Aber dessenungeachtet bieten die erwähnten, schon von Harting empfohlenen Drahtnetzbildchen doch gewisse Vortheile, welche die gewöhnlichen Probeobjecte nicht gewähren und denen wir namentlich für vergleichende Beobachtungen einiges Gewicht beilegen möchten. Sie sind es denn auch, die wir den folgenden Betrachtungen in erster Linie zu Grunde legen.

Drahtnetzbildchen als Testobjecte.

Unter den Vorzügen, durch welche die Drahtnetzbildchen sich vor 115 allen andern als Probeobjecte empfehlen, verdient zunächst hervorgehoben zu werden, dass sie für die verschiedensten Vergrösserungen gewissermassen ein und dasselbe Object vorstellen, indem die stets mit gleicher Schärfe entworfenen virtuellen Bilder einer kugelförmigen Luftblase sogar über die Grenzen der Unterscheidbarkeit hinaus verkleinert werden können, ohne dass desswegen das Verhältniss zwischen Licht und Schatten eine Aenderung erleidet. Die vom Drahtnetz ausgehenden Lichtbündel, die wegen der Kleinheit der Luftblase als parallelstrahlig zu betrachten sind, erfahren unter allen Umständen, wie diess in Fig. 80 veranschaulicht ist, eine solche Brechung, dass sie, den Raum eines weit geöffneten Kegels ausfüllend, nach dem Objectiv divergiren. (Die Figur ist für die Brechung in Wasser nach berechneten Winkeln genau construirt.)

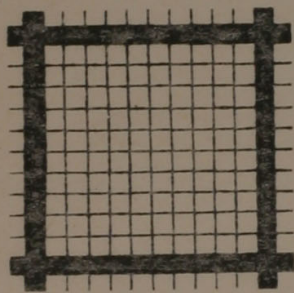


Figur 80.

Zu dieser Uebereinstimmung der Probeobjecte, die in der Beschaffenheit der Details vollständig gleich, nur

in der Grösse verschieden sind, kommt sodann zweitens der wichtige Umstand, dass die Beschaffung derselben weder Schwierigkeiten noch Unkosten verursacht. Die Herstellung von Luftblasen der verschiedensten Grösse ist überaus leicht. Bei der Auflösung von arabischem Gummi in Wasser entstehen sie meist von selbst, weil die zwischen den Pulvertheilchen enthaltene Luft nicht ganz absorbiert wird. Eben so einfach erhält man dieselben, wenn man einen Tropfen Glycerin oder Oel, den man auf den Objectträger gebracht hat, mit einem flachen Gegenstande, z. B. mit einer Messerklinge, wiederholt schlägt, bis er zu schäumen beginnt, und dann mit einem Deckgläschen bedeckt, wobei jedoch die Vorsicht zu beachten, zur Verhütung der Abplattung irgend einen geeigneten Gegenstand (Baumwollenfasern, Papierschnitzel u. dgl.) zu unterlegen. Auch Kohlensäurebläschen, welche man leicht erhält, wenn man etwas Kreidepulver und hierauf ein Tröpfchen verdünnter Salzsäure in die Flüssigkeit bringt, leisten natürlich denselben Dienst. Bei der grossen Auswahl von Luftblasen der verschiedensten Grösse ist es möglich, mit demselben Drahtnetz, auch wenn die Objectdistanz nur wenig verändert wird, Bilder zu erzielen, welche nach Belieben für die stärkern oder schwächern Vergrösserungen die Grenze der Unterscheidbarkeit erreichen.

Um die Grösse der Maschen an der äussersten Grenze der Unterscheidbarkeit noch sicher bestimmen zu können, verfährt man am besten auf folgende Weise. Ein quadratförmiges Stück des Drahtgeflechtes, welches circa 5×5 bis 10×10 Maschen enthält, wird durch schwarze Papierstreifen eingerahmt (Fig. 81) und alsdann zwischen Spiegel und



Figur 81.

Luftblase in ein solches Niveau gebracht, dass das Bildchen eben noch sichtbar ist. Misst man nun die Länge einer ganzen Quadratseite, so braucht man bloss durch die bekannte Zahl der Interstitien, die auf eine solche Seite kommen, zu dividiren, um den Abstand der Drähte oder, was dasselbe ist, den Durchmesser der Maschen zu erhalten. Hat z. B. das ganze Quadrat, wie es in obiger Figur dargestellt ist, noch einen Durchmesser von 7,5 Mik., so ist der Abstand der Drähte (wenn man beiderseits eine halbe Drahtdicke vernachlässigt) genau 40 Mal kleiner, also $= 0,75$ Mik.*).

Zum Auflegen des Drahtnetzes eignet sich am besten ein Halter, welcher aus einem horizontalen, mit einem Ring versehenen Arm besteht, der

*) Harting giebt bei solchen Messungen die Dicke der Drähte und die Grösse der Interstitien gesondert an. Wir halten diese Unterscheidung für die in Frage stehende Prüfung nicht gerade für nothwendig, da wir bei Anwendung verschiedener Drahtgeflechte, bei denen das Verhältniss der Drahtdicke zum Maschenraum zwischen 1:5 und 1:2 schwankte, immer nahezu dieselben Resultate erhielten.

an einem verticalen verschiebbar ist. Man kann sich jedoch auch mit einer Cylinderblendung behelfen, indem man das Object mittelst Wachs am untern Rande derselben befestigt und durch Zurückziehen des ganzen Apparates die Entfernung regulirt. Es kann überhaupt Niemanden schwer fallen, diese Prüfungsmethode mit den gerade zu Gebote stehenden Mitteln auszuführen. Man gebrauche nur immer die Vorsicht, Luftblasen zu wählen, welche nette und scharfe Bilder liefern.

Wir geben nun nachstehend eine kleine Zusammenstellung der Resultate, welche die mit verschiedenen Instrumenten angestellten Messungen ergeben haben. Die Grenze der Sichtbarkeit wurde bei den durch ein Sternchen bezeichneten eigenen Beobachtungen durchweg da angenommen, wo die Maschen des Netzes auch von einem mit dem Object nicht vertrauten Beobachter eben noch deutlich erkannt werden können. Da hiebei die Intensität der Beleuchtung-begreiflicher Weise nicht ganz gleichgültig ist, so wurden die meisten Bestimmungen bei hellem und bewölktem Himmel öfter wiederholt und die mittlern Grenzwerte als maassgebend betrachtet. Als Durchmesser der Maschen ist nach der oben mitgetheilten Berechnungsweise der Abstand der Drahtaxen bezeichnet; derselbe ist natürlich gleich der Summe der Durchmesser eines Drahtes und eines Interstitiums.

Einige der früher mitgetheilten Angaben über Objectivsysteme von Oberhäuser, Amici, Plössl, Kellner und Baader sind in nachstehender Uebersicht weggelassen, da sie theils nicht mehr vergleichbar, theils ohne practische Bedeutung sind. Dafür ist unsere Aufzählung durch eine grössere Anzahl von Beispielen aus der neulich erschienenen Schrift von Otto Müller*) bereichert worden. Da nämlich Müller seine Messungen ebenfalls nach der oben beschriebenen Methode ausführte, so sind seine Angaben sowohl unter sich als auch mit den unsrigen vergleichbar.

Die untersuchten Objectivsysteme sind zum grossen Theil neuern, zum Theil aber auch ältern Datums; es mag daher am Platze sein, hierüber noch einige spezielle Bemerkungen vorausszuschicken. Die beiden Plössl'schen Objective gehören zu einem ältern grossen Mikroskop, die Merz'schen dagegen zu einem neuern Instrument, das im Jahr 1867 aus der Werkstatt hervorging. Die von uns untersuchten Hartnack'schen Systeme datiren von 1860—64, ebenso die Systeme von Bénéche. Dagegen beziehen sich die Müller'schen Messungen auf Bénéche'sche Objective, welche vermuthlich in den Jahren 1868—1871 construirt wurden, während die Hartnack'schen ungefähr demselben Jahrgange entsprechen, wie die unsrigen. Eine Ausnahme hiervon macht nur 14 Imm., welches eines der gekrönten Exemplare der Pariser Ausstellung ist. Die Gundlach'schen

*) Vergleichende Untersuchungen neuerer Mikroskop-Objective, Berlin 1873 (F. Dümmler's Verlagsbuchhandlung).

Systeme (mit Ausnahme von 8 Imm., welches ältern Datums ist) stammen ungefähr aus den Jahren 1868—71, diejenigen von Zeiss theils von 1864, theils von 1869 und 1870. Ebenso wurden auch die Möller'schen Objective im Jahr 1869 bezogen.

Die Systeme sind nach den Brennweiten geordnet, diejenigen mit Correctionsvorrichtung durch Corr., die Immersionslinsen durch Imm. bezeichnet. Bei letztern ist die Correctionsvorrichtung hinzuzudenken, da sie keinem der genannten Systeme fehlt.

Optiker.	Objectiv. Nr.	Brennweite in Mill.	Objectivver- größerung.	Ocularver- größerung.	Gesamtver- größerung.	Maschen- durchmesser in Mik.
Gundlach . . .	I	22,239	10,2	3,38	34,5	3,03
*Oberhäuser . .	4	18,6	12	4	48	2,3
Möller . . .	I	17,909	13	3,74	48,6	2,566
Zeiss (1864) . .	A	14,368	16,4	3,73	61,3	2,039
Gundlach . . .	II	13,706	17,2	3,82	65,8	1,531
*Bénèche . . .	4	13,44	18,2	4,4	80	1,6
*Plössl . . .	4. 2. 3	13	22,3	5,1	114	1,5
*Merz . . .	$\frac{1}{3}$ "	12,0	12,5	7,0	88	1,6
*Hartnack . . .	4	11,3	20,4	4,7	100	1,6
Gundlach . . .	III	11,049	21,6	3,68	79,5	1,441
Hartnack . . .	4	10,917	21,9	3,69	80,9	1,44
Bénèche . . .	4	10,412	23,0	3,7	85,2	1,239
Zeiss . . .	B	10,040	23,9	3,73	89,1	1,44
Möller . . .	II	8,417	29,8	3,73	111,1	1,08
Zeiss (1864) . .	C	7,851	30,8	3,64	114,6	1,023
Bénèche . . .	6	6,964	34,9	3,72	130,3	0,843
Hartnack . . .	5	5,825	41,9	3,7	155,1	0,904
*Merz . . .	$\frac{1}{9}$ "	5,0	30	7	210	0,8
*Bénèche . . .	7	4,7	51,6	4,4	227	0,84
Bénèche . . .	7	3,934	62,6	3,81	238,3	0,609
*Plössl . . .	5. 6. 7	3,9	73,5	5,1	375	0,78
Hartnack . . .	7	3,894	63,2	3,74	236,7	0,596
Zeiss . . .	D	3,702	66,5	3,58	247,4	0,629
Möller . . .	III	3,639	67,7	4,03	272,9	0,611
Gundlach . . .	V	3,571	69,0	4,20	289,8	0,539
*Bénèche . . .	9	3,42	72,7	4,4	320	0,62
*Hartnack . . .	7	3,3	72,2	4,7	340	0,62
Bénèche . . .	9	3,209	76,9	3,88	299,1	0,565
*Merz . . .	$\frac{1}{12}$ "	3,0	50	7	350	0,6
*Bénèche . . .	8	2,95	83,6	4,4	368	0,60
Gundlach . . .	6	2,769	89,3	4,12	367,8	0,442
Zeiss . . .	E	2,596	95,3	3,73	354,1	0,526
Möller . . .	4 Corr.	2,545	97,3	4,08	396,5	0,488
Gundlach . . .	6 Corr.	2,472	100,2	4,29	429,9	0,448
Bénèche . . .	11	2,339	105,9	3,77	398,9	0,458
*Bénèche . . .	11	2,22	90,9	4,4	400	0,54

Optiker.	Objectiv. Nr.	Brennweite in Mill.	Objectivver- größerung.	Ocularver- größerung.	Gesamtver- größerung.	Maschen- durchmesser in Mik.
*Hartnack . . .	9	2,02	118,4	4,7	555	0,58
Hartnack . . .	10 Corr.	1,966	126,2	3,8	483,8	0,420
Zeiss . . .	F	1,919	129,3	3,8	492,2	0,458
*Hartnack . . .	9 Imm.	1,87	140,0	4,7	558	0,45
Hartnack . . .	10 Imm.	1,793	138,4	4,19	581,0	0,364
Gundlach . . .	7 Imm.	1,771	140,4	3,94	551,6	0,339
Bénèche . . .	10 Imm.	1,750	141,9	4,22	599,2	0,343
Hartnack . . .	10 Imm.	1,734	143,2	4,09	585,5	0,342
Zeiss . . .	F	1,727	143,8	4,16	598,0	0,433
Hartnack . . .	14 Imm.	1,231	202,4	4,44	898,6	0,317
Gundlach . . .	8 Imm.	1,207	206,2	4,34	895,4	0,314
Bénèche . . .	12 Imm.	0,824	303,5	4,44	1336,8	0,318

Aus dieser Zusammenstellung geht zunächst hervor, dass das optische 117 Vermögen des Mikroskops weder mit der Stärke der Objective, noch mit der Gesamtvergrößerung gleichen Schritt hält. Von welchem bestimmten Fall man auch ausgehen mag, es bedarf stets einer mehr als doppelt so starken Vergrößerung, um den Durchmesser der eben noch unterscheidbaren Maschen auf die Hälfte zu reduciren, und umgekehrt einer weniger als halb so starken, um doppelt so grosse Maschen noch erkennen zu lassen. Man darf somit von den schwächern Systemen mit Recht verlangen, dass sie relativ die grösste optische Kraft entwickeln, und hinwiederum bei den stärkern und stärksten die Anforderungen nicht zu hoch schrauben. Wenn bei letztern das Steigen der Vergrößerungsziffer bis zur Grenze des Erreichbaren überhaupt noch einen entschiedenen Gewinn bringt, so hat der Optiker geleistet, was man gegenwärtig von ihm erwarten darf. Uebrigens richtet sich, wie man sieht, das Unterscheidungsvermögen der Mikroskope mehr nach der Brennweite der Objective, als nach der Vergrößerungsziffer. Die geringe Steigerung der Deutlichkeit, welche man bei Anwendung stärkerer Oculare beobachtet, steht in keinem Verhältniss zu der dadurch bewirkten Grössenzunahme des Bildes.

Wenn wir zweitens aus den mitgetheilten Zahlenreihen diejenigen hervorheben, welche sich auf die stärksten Systeme beziehen, womit kleinere Instrumente gewöhnlich ausgestattet sind, wie z. B. das System 7 von Hartnack, System 9 von Bénèche, *D* von Zeiss, *V* von Gundlach etc., so schwanken die Brennweiten derselben fast durchgehends zwischen 3 und 4 Millimeter und die Vergrößerungszahlen zwischen 250 und 350. Man darf von solchen Combinationen verlangen, dass sie die Maschen des Drahtgeflechtes bei einem Durchmesser von 0,6—0,7 Mik. noch deutlich erkennen lassen. Die vorzüglichsten derselben erlauben sogar eine Ver-

kleinerung dieses Durchmessers auf 0,54—0,56 Mik. — Das Objectiv Nr. 8 von Bénéche erwies sich auffallender Weise etwas stärker als das System Nr. 9, was sich auch bei der Prüfung mit organischen Probeobjecten mehr oder weniger deutlich aussprach; doch stehen sich die beiden Nummern immerhin so nahe, dass sie füglich als eine einzige betrachtet werden könnten. Ein zweites Objectiv Nr. 9, welches wir zu vergleichender Gelegenheit hatten, hielt so ziemlich die Mitte zwischen denselben; seine Brennweite betrug 3,15^{mm}, die Gesamtvergrößerung mit Ocular Nr. 2 c. 340 *). Das optische Vermögen war aber dessenungeachtet etwas geringer als bei dem in der Tabelle aufgeführten Nr. 9.

Die absolut stärksten bis jetzt hergestellten Systeme, worunter namentlich die Immersionssysteme von Hartnack, Gundlach, Zeiss, Bénéche u. A., lassen noch Maschen von 0,4—0,32 Mik. Diameter mit den gewöhnlichen zur Beobachtung benutzten Ocularen unterscheiden und ergeben bei der günstigsten Verstärkung der Ocularvergrößerung noch eine Steigerung des optischen Vermögens bis auf c. 0,3 Mik. Maschendurchmesser. Ob die besten englischen Objective mehr leisten, ist uns nicht bekannt; diejenigen, die wir zu untersuchen Gelegenheit fanden, waren höchstens ebenbürtig.

Eine dritte Bemerkung, die sich uns bei der Vergleichung obiger Tabelle mit anderweitigen Prüfungsergebnissen aufdrängt, bezieht sich auf das absolute Maass der Leistungsfähigkeit. Messungen an Drahtnetzbildchen liefern nämlich durchgehends, zumal bei Objectiven mit grossem Oeffnungswinkel, etwas grössere Ziffern für die Unterscheidungsgrenze, als die Bestimmung der letztern mittelst organischer Probeobjecte. Diess lässt sich übrigens zum Voraus erwarten; der Unterschied rührt offenbar daher, dass sowohl der abnormale Strahlengang, den die kleinen Luftblasenbildchen herbeiführen, als auch die damit zusammenhängende Art der Bilderzeugung im Mikroskop für das Objectiv ungünstig ist.

Organische Probeobjecte.

- 118 Unter den organischen Körpern, deren feinere Strukturverhältnisse ein gutes Mikroskop erst bei einer gewissen Vergrößerung zur Wahrnehmung bringt, bieten namentlich die kleinen Schüppchen, welche auf der Haut vieler Insecten, insbesondere auf Schmetterlingsflügeln vorkommen, sowie ferner die Kieselschalen der Diatomeen die verschiedensten Abstufungen. Erstere wurden denn auch lange Zeit fast ausschliesslich als Probeobjecte benutzt und einige derselben finden auch jetzt noch vielfach Anwendung; die letztern, zuerst in England in Vorschlag gebracht und zur Prüfung starker Objective besonders geeignet, kamen in neuester Zeit so allgemein in Gebrauch, dass sie jetzt wohl die gewöhnlichste Zugabe der

*) In der dem Mikroskop beigegebenen Tabelle ist die Vergrößerung von Nr. 9 ebenfalls zu 340 angegeben, die von Nr. 8 dagegen nur zu 240. Hienach scheint eine Verwechslung stattgefunden zu haben.

Optiker bilden. Obschon wir nun freilich die mit diesen Probeobjecten erhaltenen Resultate der Prüfung nicht für streng maassgebend halten, so lässt sich doch nicht in Abrede stellen, dass sie uns ein leicht anwendbares Mittel an die Hand geben, die Leistungsfähigkeit eines Mikroskops approximativ zu beurtheilen. Die Kenntniss der gebräuchlichsten Probeobjecte ist daher immerhin von practischem Werth, und es ist jedem Mikroskopiker anzuempfehlen, sich die Schärfe und Klarheit der Bilder zu merken, welche dieselben in einem guten Instrumente bei einer bestimmten Vergrösserung hervorrufen. Wir wollen daher eine gedrängte Aufzählung der Schmetterlingsschuppen und Diatomeenpanzer, welche in neuester Zeit als besonders geeignet zu Testobjecten vorzugsweise benutzt werden, hier folgen lassen und, wo es nöthig erscheint, eine kurze Beschreibung derselben hinzufügen.

Was zunächst die Schmetterlingsschuppen betrifft, so zeigen dieselben 119 gewöhnlich deutliche Längsstreifen, welche unter sich parallel oder etwas divergirend von der Basis des Schüppchens nach seinem obern Rande verlaufen, und weniger deutliche Querstreifen, welche rechtwinklig zu jenen stehen und bei etwas tieferer Einstellung zum Vorschein kommen. Diese Streifensysteme sollen bei den nachstehend bezeichneten Vergrösserungen deutlich hervortreten.

1. *Lepisma saccharinum*. Längsstreifen der grössern Schüppchen schon bei 40maliger, der kleinern bei 100—150maliger Vergrösserung deutlich. Die grössern Schüppchen sind keilförmig, die kleinern mehr rundlich, mit blassern, dichter gestellten Streifen.

2. *Hipparchia Janira*. a) Schuppen von den Flügeln des Weibchens. Längsstreifen nach Schacht schon bei 80facher, Querstreifen bei schiefer Beleuchtung mit den Objectiven 5 von Hartnack, 7 von Bénéche, C von Zeiss, also bei c. 120—250maliger Vergrösserung sichtbar. Durch stärkere Objective sollen die Querstreifen auch bei geradem Licht deutlich als scharfe Linien (nicht körnig oder unterbrochen) gesehen werden. Die langen und hellen Schuppen sind, wie immer, schwieriger als die dunkler gefärbten. b) Schuppen von der Oberseite der Flügel des Männchens. Längsstreifen nach Mohl nur mit den stärksten Amici'schen Objectiven und schiefer Beleuchtung sichtbar; von Querstreifen, die ohne Zweifel auch vorhanden sind, keine Spur.

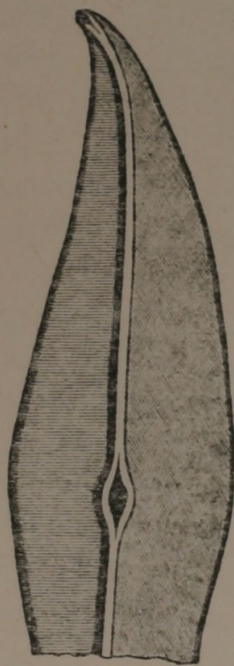
3. *Lycaena Argus*. Schuppen von der Oberfläche der Vorderflügel: a) Solche, die bei auffallendem Lichte blau, bei durchfallendem hellgelb erscheinen. Längsstreifen schon bei schwächerer Vergrösserung (50—80 Mal), Querlinien erst bei c. 300maliger Vergrösserung sichtbar. Wegen der grossen Gleichförmigkeit der Schuppen besonderer Beachtung werth. b) Solche, welche bei auffallendem Lichte hellbraun, im durchgehenden grau und dunkel erscheinen. Längsstreifen wie bei den vorigen; Querstreifen, obgleich enger gezogen, etwas weniger schwierig, jedoch nicht unter einer 300maligen Vergrösserung wahrnehmbar. c) Schüppchen von

ovaler Form, welche im auf- und durchfallenden Lichte eine gelbliche Färbung zeigen. Mit Reihen von dunkeln Puncten, die c. $2\frac{1}{2}$ —3 Mik. von einander abstehen und daher schon mit mässigen Vergrösserungen scharf begrenzt gesehen werden sollen.

- 120 Weit mannigfaltiger, als bei den Schmetterlingsschuppen, ist die Zeichnung der Diatomeenpanzer. Als Prüfungsobjecte werden indess meistens solche benutzt, welche zwei oder drei Liniensysteme erkennen lassen, die sich im ersten Fall unter einem rechten, im letztern unter schiefen Winkeln schneiden. Ob diese Liniensysteme von hervorragenden Leisten, oder von kleinen Erhabenheiten oder Vertiefungen, welche reihenförmig gestellt sind, oder endlich von Dichtigkeitsverschiedenheiten herrühren, ist in den meisten Fällen unentschieden, indem die verschiedenen Ansichten, welche man hie und da, und zuweilen mit grosser Zuversicht, darüber ausgesprochen findet, der nähern Begründung entbehren. Wir lassen daher diese Frage unerörtert und beschränken uns einfach auf die Charakteristik des mikroskopischen Bildes, das bei der Prüfung ja ohnehin einzig und allein in Betracht kommt.

4. *Pinnularia viridis*. Eine mit *Navicula* nahverwandte Diatomacee mit Querstreifen von c. 1,5 Mik. Entfernung. Diese Streifen sollen schon von den schwächsten Objectiven mit 10—15^{mm} Brennweite aufgelöst werden.

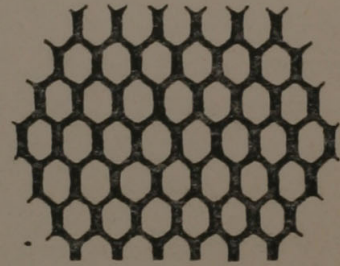
5. *Pleurosigma angulatum*. (Fig. 82.) Zwei gleich starke und gegen die Mittellinie gleich geneigte Streifensysteme schneiden sich unter Winkeln von c. 53 — 58° (nicht wie gewöhnlich angegeben wird, unter 60°); ein drittes, etwas weniger deutliches System steht rechtwinklig auf der Mittellinie und bildet mit den beiden schiefen Systemen Winkel von ungefähr 64 — $63\frac{1}{2}^{\circ}$. Jedes dieser Liniensysteme soll bei schiefer Beleuchtung, wenn das Licht im rechten Winkel gegen dasselbe einfällt, schon durch mittelstarke Objective, wie Nr. 7 von Hartnack, Nr. 9 von Bénèche, also bei c. 250—300maliger Vergrösserung*), für sich allein deutlich gesehen werden, so dass beim Drehen des Objectes alle drei Systeme nach einander zum Vorschein kommen. Die stärkern Objective, welche eine Vergrösserung von 500—600 Mal geben, lassen die drei Liniensysteme schon im geraden Licht gleichzeitig hervortreten und lösen dieselben bei schiefer Beleuchtung in helle Puncte auf, welche sich nach den drei genannten Richtungen in Reihen ordnen.



Figur 82.

*) Diese Vergrösserungsziffern setzen eine Ocularvergrösserung von c. $4\frac{1}{2}$ —5 Mal voraus, z. B. Ocular Nr. 2 von Bénèche und Nr. 3 von Hartnack. — Nach der Stärke der Objective bemessen, sollen Systeme mit 4—5 Millimeter Brennweite bei günstiger Ocularvergrösserung die Streifung zeigen.

Mit den besten Objectiven endlich ist es möglich, diese hellen Punkte als nicht ganz regelmässige Sechsecke zu erkennen, deren zwei längste Seiten mit der Mittellinie parallel laufen (Fig. 83). Die dunkeln Linien, welche bei schwächerer Vergrösserung vollkommen geradlinig erscheinen, sind also in Wirklichkeit Zickzacklinien, und zwar bestehen die beiden schiefen Systeme, wie obige Figur zeigt, aus abwechselnd längs und schief verlaufenden Elementen, während die Querlinien nur von diesen letztern gebildet werden. Da nun die längsverlaufenden Elemente durchweg stärker sind als die schiefen, so erklärt sich hieraus die grössere Deutlichkeit der schiefen Streifensysteme. Die scheinbare Niveauverschiedenheit derselben beruht dagegen nur auf einem optischen Effect, welcher in der ungleichen Stellung der schief gestellten Streifenelemente gegen das einfallende Licht seine Erklärung findet *). Daher rührt es, dass ein und dasselbe System bei einer gewissen Stellung der Mittelrippe entschieden höher, nach einer Drehung von ungefähr 90^0 dagegen ebenso entschieden tiefer zu liegen scheint.



Figur 83.

Dieses ausgezeichnete Probeobject kann, wie auch alle folgenden, durch Bourgogne in Paris, Möller in Wedel (Holstein) etc., zum Theil auch von den optischen Firmen bezogen werden. Die Exemplare liegen gewöhnlich in Balsam und zwar in so grosser Zahl, dass man nicht erst lange zu suchen braucht, um ein zur Beobachtung taugliches zu finden. Die grössern zeigen, wie sich erwarten lässt, eine etwas deutlichere Zeichnung als die kleinern. Man darf indess vollkommen zufrieden sein, wenn das Mikroskop die Prüfung mit den grössten und schönsten Exemplaren in der angedeuteten Weise besteht.

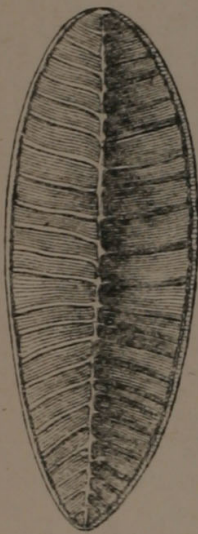
6. *Pleurosigma attenuatum*. Mit stärkern Längsstreifen, welche parallel der Mittelrippe verlaufen, und rechtwinklig darauf stehenden zarten Querlinien. Längsstreifen im geraden Licht schon bei 150—200maliger Vergrösserung deutlich, so z. B. mit Objectiv Nr. 7 und Ocular Nr. 4 von Bénèche; Querstreifen bei c. 300maliger Vergrösserung im geraden Licht angedeutet und stellenweis deutlich, bei schiefer Beleuchtung durchgehends sehr scharf, so z. B. mit Objectiv Nr. 9 von Bénèche und Nr. 7 von Hartnack. Mit stärkern Objectiven lösen sich die hellen Linien, wie immer bei ähnlichen Zeichnungen, sehr deutlich in kleine Quadrate oder eigentlich Rechtecke auf, deren Ecken mehr oder weniger abgestumpft sind, so dass die dunkeln Scheidelinien hier knotig verdickt erscheinen.

*) Da nämlich die stärkern, längs gestellten Elemente den beiden schiefen Streifensystemen angehören und daher in jeder beliebigen Lage gegen das einfallende Licht für beide in gleicher Weise wirken, so kann die Verschiedenheit des Effectes nur von den schief gestellten Elementen herrühren.

7. *Pleurosigma balticum*. Mit Längsstreifen und etwas zarteren Querstreifen; erstere schon bei 200maliger Vergrößerung im schiefen Lichte sichtbar, letztere unter 300maliger Vergrößerung kaum deutlich. Nr. 7 von Bénèche zeigt die Längslinien nur mit den stärkern Ocularen entschieden und deutet die Querlinien am Rande an; mit Nr. 9 dagegen und Nr. 7 von Hartnack lassen sich beide Systeme in aller Schärfe erkennen.

8. *Grammatophora marina*. Randpartieen mit Querstreifen und zwei weniger deutlichen schiefen Streifensystemen, ähnlich wie bei *Pleurosigma angulatum*. Alle drei Streifensysteme lassen sich durch das Objectiv Nr. 9 von Bénèche erkennen, und zwar die Querstreifen schon mit den gewöhnlich benutzten Ocularen Nr. 4 und 2, die schiefen dagegen ganz deutlich erst mit den stärkern Ocularen. Ziemlich dasselbe gilt auch für das Objectiv Nr. 7 von Hartnack. Man darf demnach jedenfalls verlangen, dass ein Mikroskop mit 340—400maliger Vergrößerung die drei Streifensysteme zur Wahrnehmung bringe.

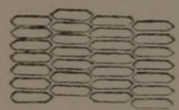
9. *Surirella Gemma*. (Fig. 84.) Zwischen den starken, in unregelmässigen Entfernungen auftretenden Querleisten zu beiden Seiten der



Figur 84.



Figur 85.



Figur 86.

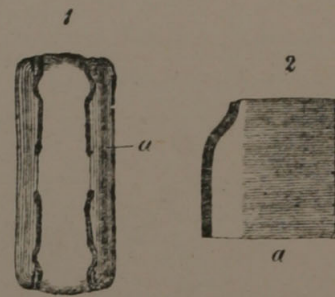
Mittelrippe und parallel mit denselben verlaufen zartere Querstreifen, welche selbst wieder von äusserst feinen Längslinien (Fig. 85) rechtwinklig geschnitten werden. Diese letztern werden nur durch die stärkern Objective, wie Nr. 9 und 10 von Hartnack, deutlich gesehen; die erstern erfordern dagegen bloss eine etwa 400—500malige Vergrößerung. Mit den besten Objectiven endlich, welche in neuester Zeit hergestellt worden sind, sollen angeblich die zarten longitudinalen Linien in hexagonale Feldchen aufgelöst werden (Fig. 86). Diese Angabe wird jedoch von Flögel*) auf Grund der be-

obachteten Beugungserscheinungen als unrichtig bezeichnet.

10. *Nitzschia sigmoidea*. Der lange und schmale Panzer zeigt zarte, dicht gestellte Querlinien, welche nach Schacht durch die Wasserlinse Nr. 40 von Hartnack erst bei schiefem Lichte gelöst werden, übrigens bei derselben Beleuchtung auch mit den entsprechenden Objectiven von Bénèche und Zeiss sichtbar sind. Diese Angaben Schacht's beziehen sich auf trocken aufbewahrte Exemplare, welche bekanntlich weniger schwierig sind, als die in Balsam liegenden.

*) Bot. Ztg. 1869, pag. 757.

11. *Grammatophora subtilissima*. (Fig. 87, 1.) Randpartie *a* mit äusserst zarten und dichtgestellten Querstreifen (Fig. 87, 2), welche (wenn das Präparat in Canadabalsam liegt) nur durch sehr gute Objective aufgelöst werden. Mit dem Immersionssystem Nr. 9 von Hartnack vermochten wir kaum eine Andeutung dieser Streifung zu sehen. Dagegen lassen die stärksten Immersionssysteme neuester Construction diese Querlinien deutlich erkennen und zeigen überdiess noch vereinzelte Spuren schiefer Liniensysteme, wie sie bei *Pleurosigma angulatum* und auch bei grössern *Grammatophoren* vorkommen.



Figur 87.

12. *Navicula rhomboides*. Mit Längs- und Querstreifen, erstere deutlicher und nicht sehr schwierig, letztere äusserst scharf und fein. Wurde als *N. affinis* auf der letzten Londoner Industrieausstellung (in Canadabalsam liegend) als Testobject benutzt.

Ausser den vorstehend aufgeführten Probeobjecten wurden in neuester 121 Zeit noch manche andere, die eben so geeignet sein mögen, in Vorschlag gebracht und finden gewiss auch hie und da Anwendung, so z. B. verschiedene Arten von *Navicula*, *Coscinodiscus*, *Frustulia saxonica*, *Hyalodiscus subtilis* u. A. mehr, worunter manche eine so feine Streifung zeigen sollen, dass 4—5 Linien auf einen Mikromillimeter kommen. Wir halten indess unsere Aufzählung für vollkommen genügend und sind nicht geneigt, der Entdeckung neuer Probeobjecte bei dem gegenwärtigen Standpunct der practischen Optik eine besondere Wichtigkeit beizulegen. Wir möchten sogar jedem Mikroskopiker den Rath geben, eine Auswahl von höchstens 3 oder 4 zu treffen und sich dafür um so genauer zu merken, wie sich dieselben unter verschiedenen Mikroskopen darstellen. Diess wird ihm bei der Prüfung eines unbekannten Instrumentes stets besser zu Statten kommen, als die einfache Thatsache, ob dasselbe ein bestimmtes Prüfungsobject löst oder nicht.

Dagegen mögen nachträglich noch die Möller'schen Probeplatten, bestehend aus 20 Diatomeen, reihenförmig nach der Schwierigkeit ihrer Lösung geordnet, spezielle Erwähnung finden. Die Namen der betreffenden Diatomeen sind: 1) *Triceratium Favus*, 2) *Pinnularia nobilis*, 3) *Navicula Lyra* var., 4) *N. Lyra*, 5) *Pinnularia interrupta* var., 6) *Stauroneis Phoenicenteron*, 7) *Grammatophora marina* (gröber gezeichnet als die Bourgoigne'sche Art), 8) *Pleurosigma balticum*, 9) *P. acuminatum*, 10) *Nitzschia amphioxys*, 11) *Pleurosigma angulatum*, 12) *Grammatophora oceanica subtilissima* (*marina*), 13) *Surirella Gemma* (für Querlinien), 14) *Nitzschia sigmoidea*, 15) *Pleurosigma Fasciola* var., 16) *Surirella Gemma* (für Längs-

linien), 17) *Cymatopleura elliptica*, 18) *Navicula crassinervis*, *Frustulia saxonica*, 19) *Nitzschia curvula*, 20) *Amphipleura pellucida*.*)

122 Zur bequemern Vergleichung der organischen Testobjecte mit den Drahtnetzbildchen und den Nobert'schen Probeplatten gehen wir nachstehend noch eine Zusammenstellung der Streifenabstände nach Messungen von Dippel**) und Flögel.***)

Namen der Objecte.	Beobachter.	Abstand der Streifen in Mikromillimeter.
<i>Lepisma saccharinum</i> .	Dippel	gross . . . 2,22
	-	klein . . . 1,42
<i>Hipparchia Janira</i> . .	-	Querstreifen . 0,99
	Abbe	Längsstreifen 2,00
<i>Lycaena Argus</i> . . .	Dippel	lichte Schuppen 1,33
	-	dunkle - 0,87
<i>Pinnularia viridis</i> . . .	-	Querstreifen . 1,53
<i>Pleurosigma angulatum</i> .	Dippel u. A.	. 0,46—0,50
- <i>attenuatum</i> .	Dippel	Querstreifen . 0,69
- <i>balticum</i> .	-	Längs-u. Querstr. 0,74
<i>Grammatophora marina</i> .	-	Querstreifen . 0,41
- <i>subtilissima</i>	Flögel	- . 0,32
<i>Surirella Gemma</i> . . .	Dippel	Längsstreifen 0,32
	-	Querstreifen . 0,46
<i>Nitzschia sigmoidea</i> . . .	-	- . 0,33
<i>Navicula rhomboidea</i> . .	-	- . 0,33
<i>Frustulia saxonica</i> . .	-	- . 0,29
- -	Abbe	- . 0,25
<i>Amphipleura pellucida</i> .	Flögel	- . 0,28

Die beiden letztgenannten Probeobjecte, *Frustulia saxonica* und *Amphipleura pellucida*, gehören offenbar zu den schwierigsten und feinsten, die man gegenwärtig kennt; aber dass bei *Amphipleura*, wie Rabenhorst angiebt, 135 Querstreifen auf 0,001" gehen, wonach der Streifenabstand bloss 0,187 Mik. betrüge, gehört offenbar ins Gebiet der Täuschungen.

*) Möller verfertigt auch Diatomaceen-Typenplatten mit 100 bis 400 Objecten, welche in Reihen systematisch geordnet sind. Vgl. die Preisverzeichnisse am Schluss.

**) Mikroskop, p. 134.

***) Bot. Ztg. 1869, p. 741 ff.

Nobert's Probetäfelchen.

Mit der Anwendung organischer Probeobjecte ist stets der Nachtheil **123** verbunden, dass die Resultate, welche der Beobachter erhält, mit denen eines andern Beobachters nie vollkommen vergleichbar sind, weil die gleichnamigen Objecte in Grösse und Deutlichkeit zu sehr von einander differiren. Um diesem Uebelstand abzuheffen, kam N o b e r t auf den glücklichen Gedanken, ein künstliches Prüfungsobject in Form einer mikrometrischen Theilung auf Glas herzustellen. Er verfertigte schon 1846 Probetäfelchen mit 10 Liniengruppen, wobei die Abstände der einzelnen Linien in der ersten Gruppe am grössten, in jeder folgenden etwas kleiner und in der letzten am kleinsten waren. In der Folge vermehrte er die Zahl der Gruppen auf 12, 15, 20 und später sogar auf 30, veränderte aber zugleich die Abstände in den vorhergehenden Nummern, so dass die mit ältern Probetäfelchen erhaltenen Resultate mit den an neuern angestellten Beobachtungen nicht vergleichbar sind. In neuester Zeit hat sodann Nobert die Zahl der Gruppen wieder auf 19 reducirt. Die Abstände der Linien auf den neuern und neuesten Probetäfelchen und zugleich die Zahl derselben auf 1^{mm} sind in folgenden Tabellen zusammengestellt.

A. Platte mit 30 Gruppen.

Gruppe.	Abstand in Mik.	Linien auf 1 ^{mm} .	Gruppe.	Abstand in Mik.	Linien auf 1 ^{mm} .
1	2,256	443	10	0,620	1642
2	1,945	513	11	0,591	1692
3	1,647	607	12	0,565	1772
4	1,399	715	13	0,533	1875
5	1,240	806	14	0,508	1969
6	1,082	924	15	0,454	2216
7	0,902	1108	20	0,377	2653
8	0,789	1267	25	0,323	3098
9	0,676	1478	30	0,282	3544

B. Platte mit 19 Gruppen.

Gruppe.	Abstand in Mik.	Linien auf 1 ^{mm} .	Annähernd aequivalente Testobjecte.
1	2,256	443	Lepisma saccharinum, gross.
2	1,504	665	Pinnularia viridis.
3	1,128	886	
4	0,902	1108	

Gruppe.	Abstand in Mik.	Linien auf 1 ^{mm} .	Annähernd äquivalente Testobjecte.
5	0,752	1329	Pleurosigma balticum.
6	0,645	1550	- attenuatum.
7	0,564	1773	
8	0,502	1992	} Pleurosigma angulatum.
9	0,451	2216	
10	0,410	2439	Grammatophora marina.
11	0,376	2653	Nitzschia linearis.
12	0,347	2870	} Navicula rhomboides.
13	0,322	3105	
14	0,301	3322	} Grammatophora subtilissima.
15	0,282	3546	
16	0,265	3768	} Frustulia saxonica.
17	0,251	3989	
18	0,237	4211	} Amphipleura pellucida.
19	0,226	4433	

Wie man aus diesen Tabellen ersieht, stehen die Nobert'schen Probeblättchen an Feinheit der Theilung den schwierigsten organischen Objecten nicht nach. Sie stimmen auch insofern mit denselben überein, als das Bild der Theilstriche auch hier ein reines Interferenzbild ist, das von den abgebeugten Strahlen erzeugt wird. Wir lassen es übrigens, da wir dieselben aus eigener Beobachtung nicht näher kennen, dahingestellt, ob sie wirklich einen zuverlässigern Maassstab zur Prüfung bieten, als die Kieselpanzer der Diatomeen. Nach Max Schultze*) lässt die Gleichmässigkeit der neuern Platten mit 19 Gruppen nur wenig zu wünschen übrig. Dass indess eine vollständige Uebereinstimmung der gleichnamigen Liniensysteme, insbesondere mit Rücksicht auf die Stärke der Striche, mit keiner Maschine erreicht werden kann, lässt sich schon a priori mit Gewissheit behaupten.

2. Relatives Unterscheidungsvermögen.

- 124 Obschon im Vorhergehenden, speziell durch die Prüfungsergebnisse bei Anwendung von Drahtnetzbildchen, der gegenwärtige Standpunct der practischen Optik gewissermaassen arithmetisch bestimmt ist, insofern nach den mitgetheilten Zahlen die Höhe der Leistungen, deren die bessern Instrumente fähig sind, jederzeit bemessen werden kann, so gewährt es doch

*) Archiv f. mikrosk. Anat. I, p. 3 u. 4.

ein besonderes Interesse, das bereits Erreichte mit dem zu vergleichen, was nach der Theorie erreicht werden müsste, wenn das Mikroskop in jeder Beziehung mathematisch vollkommen wäre. Es ist geometrisch klar, dass mit einem solchen Instrument das Bild eines Drahtgeflechtes bei m maliger Vergrößerung gerade so deutlich gesehen werden müsste, als würde dasselbe in m fachem Maassstab mit blossem Auge betrachtet. Nur die Lichtstärke des Bildes ist, weil abhängig vom Oeffnungswinkel des Objectivs, nicht nothwendiger Weise dieselbe, und insofern dieser Umstand auf die Unterscheidbarkeit der Maschen Einfluss übt, ist es allerdings denkbar, dass auch ganz vollkommene Instrumente mit der Vergrößerungszahl nicht gleichen Schritt halten. Wir wollen indess der Einfachheit wegen vorläufig annehmen, die Lichtstärke des Mikroskops sei entweder $= 1$, oder die Wahl der Lichtquelle werde stets so getroffen, dass die resultirenden Bilder gleiche Helligkeit besitzen. Ist alsdann D der Durchmesser der Maschen an der Grenze der Sichtbarkeit bei unmittelbarem Sehen, d der Durchmesser derselben bei einer bestimmten Vergrößerung m , so ist (abgesehen von allfälligen Einflüssen physiologischer Natur) $d = \frac{D}{m}$, oder was auf dasselbe herauskommt, $\frac{D}{md} = 1$, wenn das Instrument vollkommen, dagegen $\frac{D}{md} < 1$, wenn es unvollkommen ist. Im letztern Falle steht natürlich der grössere oder kleinere Werth des Bruches in Beziehung zum optischen Vermögen; er gibt aber nicht die absolute Grösse desselben an, sondern nur sein Verhältniss zur Leistungsfähigkeit eines vollkommenen Instruments. Wir können daher auch sagen, $\frac{D}{md}$ sei der mathematische Ausdruck für das relative Unterscheidungsvermögen.

Die Grösse D lässt sich leicht bestimmen, indem man in Ermangelung 125 hinreichend grosser Luftblasen ein geeignetes Objectiv, z. B. Nr. 7 von Hartnack, so auf den Objectträger bringt, dass seine Vorderfläche nach oben gekehrt ist, und hierauf das von demselben entworfene Bild des Drahtnetzes durch die leere Mikroskopröhre oder nöthigenfalls nach Wegnahme derselben mit blossem Auge beobachtet. Man hält dabei das letztere in derjenigen Entfernung vom Object, für welche es sich am leichtesten accommodirt, und bestimmt schliesslich, wenn das Bildchen eben noch deutlich erkennbar ist, auf mikrometrischem Wege die Grösse desselben.

Man erhält jedoch auf diese Weise, und wie es scheint ganz allgemein bei ähnlichen Beobachtungen mit blossem Auge, nicht so übereinstimmende Resultate, wie beim Sehen durchs Mikroskop. Unsere öfter wiederholten Messungen ergaben z. B. bei einer Sehweite von 200^{mm} für D Werthe, die zwischen 400 und 428 Mik. schwanken, welche Grössen, wenn man sich das Bildchen in der conventionellen Entfernung von 250^{mm} , für welche die

Vergrößerungen berechnet sind, projecirt denkt, beziehlich auf 125 und 160 Mik. steigen.

Otto Müller^{*)} erhielt dagegen für sein Auge einen mittlern Maschendurchmesser von 103 Mik., Harting^{**)} einen solchen von 99 Mik., und Helmholtz^{***)} setzt die Grenze der Unterscheidung bei einem Stabgitter sogar auf c. 78 Mik. herunter†).

- 126 Unter diesen Verhältnissen dürfte die graphische Darstellung sich wohl am besten dazu eignen, die Resultate der Rechnung dem Auge in übersichtlicher Weise vorzuführen, weil die Construction dieselbe bleibt, mag man diese oder jene Vergrößerung als Ausgangspunkt wählen. Wir haben daher auf eine tabellarische Zusammenstellung verzichtet und dafür in Fig. 88 die Vergrößerungszahlen nach einem ganz beliebigen Maassstab als Abscissen und die entsprechenden Werthe von $\frac{D}{md}$ nach einem beliebigen andern Maassstab als Ordinaten aufgetragen. Die Verbindung der den zusammengehörigen Objectivsystemen entsprechenden Endpunkte der Ordinaten durch Linien gestattet alsdann sowohl die Vergleichung der Systeme unter sich, als auch der Leistungen der betreffenden Optiker. Die absolute Grösse von D kommt erst in Betracht, wenn es sich um Bestimmung der dem blossen Auge (Vergr. 1) entsprechenden Ordinate handelt, und man kann sich dieselbe für jeden beliebigen Werth von D leicht hinzudenken. In der Figur entspricht der Punct $O.M$ dem von Otto Müller angegebenen Grenzwert von 103 Mik., der Punct $N.S$ dem von uns beobachteten Minimum von 125 Mik. Maschendurchmesser.

- 127 Was an genannter Figur zunächst in die Augen springt, ist die auffallende Thatsache, dass die am weitesten hinaufsteigenden Curven sogar die dem unbewaffneten Auge entsprechende Niveaulinie, wenn wir

^{*)} Vergl. Unters. neuerer Mikroskop-Objective, p. 44 (259).

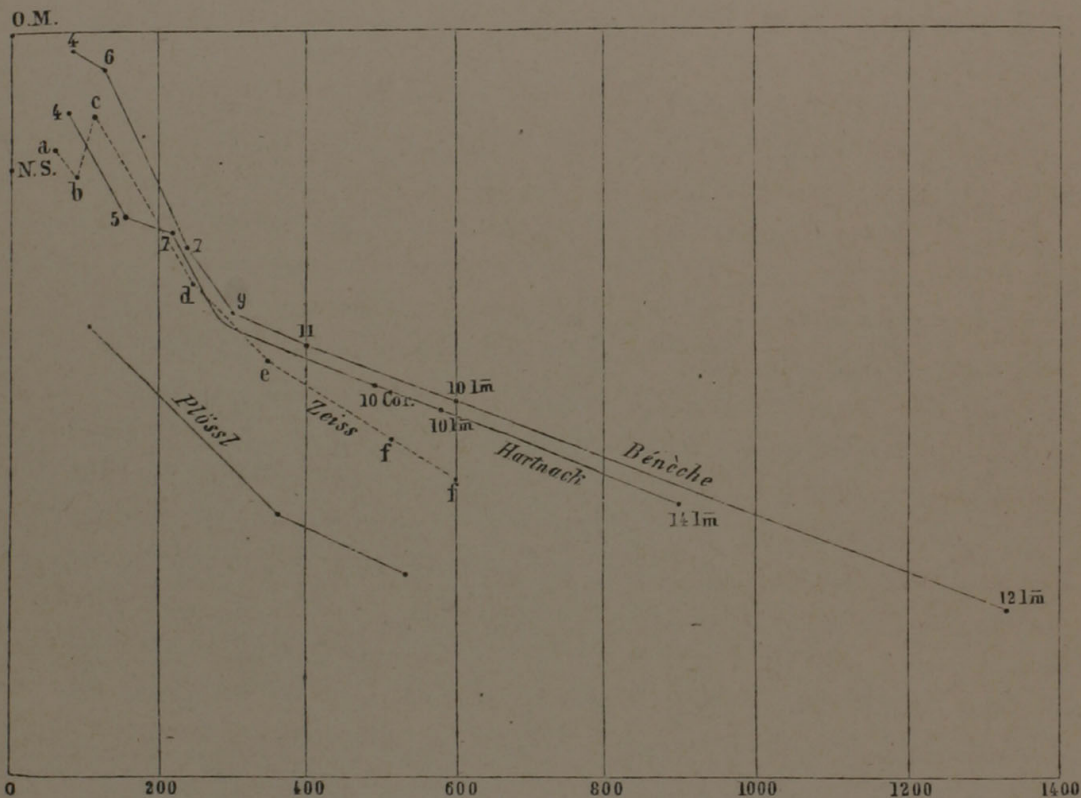
^{**)} Mikrosk. 2. Aufl. I, p. 84. Maschendurchmesser und Drahtdicke müssen selbstverständlich addirt werden, was Harting an einer andern Stelle (l. c. 2. Aufl. I, p. 342) übersehen hat. Die Harting'sche Beobachtungsmethode liefert übrigens Ziffern, welche mit den durch mikroskopische Beobachtung erhaltenen nicht vergleichbar sind.

^{***)} Physiol. Optik, p. 218. Der Verfasser giebt 63,75 Secunden an, was obigem Werth ungefähr gleich kommt. Helmholtz benutzte übrigens als Object für seine Beobachtungen ein Gitter von schwarzen Drähten, dessen Zwischenräume gleich dem Durchmesser der Drähte waren, und stellte dasselbe vor den hellen Himmel. Die so erhaltenen Ziffern sind aber offenbar mit den unsrigen nicht vergleichbar.

†) Wie wenig überhaupt solche Beobachtungen übereinstimmen, zeigt die von Harting (Mikr. I, pag. 72) mitgetheilte Tabelle, in welcher die Gesichtswinkel der Maschen an den Grenzen der Unterscheidbarkeit für 5 verschiedene Beobachter zusammengestellt sind. Wir halten indess die dabei zu Grunde gelegte Beobachtungsmethode, nach welcher das Drahtnetz direct gesehen und die Objectdistanz bis zu 3 Meter vergrößert wird, im gegebenen Falle für unzweckmässig, da man nicht wohl annehmen kann, dass das Auge sich für verschiedene Entfernungen immer gleich gut accommodire. Jedenfalls sind die Messungen an dioptrischen Bildern, wenn sie bei möglichst günstigem Abstand des Auges angestellt werden, behufs einer Vergleichung mit mikroskopischen Beobachtungen vorzuziehen. Das Netzhautbildchen entsteht alsdann im einen wie im andern Fall unter annähernd gleichen Bedingungen, und die Reduction auf die conventionelle Entfernung von 25 Centim. ist Sache der Rechnung.

den mittlern Werth als maassgebend betrachten, überschreiten. Die widersprechenden Angaben, welche mit Rücksicht auf das Unterscheidungsvermögen des blossen Auges gemacht werden, sind für uns kein Grund, diese Thatsache zu bezweifeln. Dieselben mögen in der ungleichen Beschaffenheit der verschiedenen Augen ihre Erklärung finden; allein sie lassen unsere wiederholt angestellten Messungen, wonach unter Umständen D kleiner ausfällt als md , vollständig unberührt.

Es ist somit immerhin als sicher zu betrachten, dass es Mikroskope **128** giebt, die im Vergleich mit einem gesunden Auge trotz ihrer Unvollkom-



Figur 88.

menheit, bei Anwendung schwächerer Vergrösserungen mehr leisten, als ein ganz vollkommenes, ideales Instrument der Theorie zufolge leisten müsste. Offenbar kann diese paradoxe Erscheinung ihre Erklärung nur in Eigenthümlichkeiten finden, welche die mikroskopische Wahrnehmung, mögen nun die brechenden Linsensysteme besser oder schlechter sein, vom Sehen mit blossen Auge unterscheiden. Als solche Eigenthümlichkeiten lassen sich anführen: 1) die in den Details auf Interferenz beruhende mikroskopische Bilderzeugung; 2) die vom Oeffnungswinkel abhängige Verschiedenheit der Lichtstärke, wovon bereits oben die Rede war; 3) die chromatische Abweichung dieser Lichtbündel, welche bekanntlich nie ganz aufgehoben werden kann; 4) die spärliche Abweichung derselben.

Von diesen 4 Punkten — und wir wüssten keine weitem hinzuzufügen — ist voraussichtlich der erste von überwiegendem Einfluss. Denn wie

bereits oben bemerkt, kommt das mikroskopische Structurbild durch Interferenz zu Stande, und die bilderzeugenden, den Rand der Objectivöffnung streifenden Lichtbüschel sind so schmal, dass die Aberrationen des Auges keine merklichen Störungen bewirken können. Die Schärfe des Netzhautbildes wird also nothwendig gesteigert und zwar in noch höherem Grade, als durch Verschmälerung der ins Auge gelangenden Lichtkegel mittelst kreisrunder Blendungen. Und doch haben schon diese einen unzweifelhaft günstigen Einfluss. Sieht man z. B. durch eine kleine Oeffnung von c. 1^{mm} Durchmesser auf eine gedruckte Blattseite oder deren Bild, so erscheint die Schrift entschieden deutlicher, die Lettern sehen schwärzer und schärfer gezeichnet aus.

Der zweite der genannten Punkte fällt dagegen, wie die experimentelle Prüfung sogleich herausstellt, ausser Betracht; denn die Erscheinung bleibt dieselbe, auch wenn die Lichtstärke des mikroskopischen Bildes durch geeignete Wahl der Beleuchtung so geregelt wird, dass das unbewaffnete Auge sich in dieser Hinsicht sogar im entschiedenen Vortheil befindet. Ebenso wenig kann die unter 4) erwähnte sphärische Abweichung den Ausschlag geben, weil das Auge für Lichtbündel, welche annähernd in der Richtung seiner Axe einfallen, eine merkliche Aberration der Randstrahlen nicht hervorruft*) und folglich an eine Compensation einer solchen Abweichung durch die entgegengesetzte der einfallenden Strahlen nicht wohl gedacht werden kann.

Was endlich die chromatische Abweichung des Auges betrifft, welche bekanntlich einen sehr merklichen Grad erreicht und dadurch vorzugsweise die Erscheinungen der »eigentlichen ächten« Irradiation hervorruft**), so wäre es immerhin denkbar, dass dieselbe durch ein schwach überverbessertes Mikroskop beseitigt und somit auch von dieser Seite eine Verstärkung des Wahrnehmungsvermögens erzielt würde. Jedenfalls findet diese Erklärung auf das Objectiv 4 von Bénèche Anwendung, welches, obgleich deutlich überverbessert, im ganzen mittlern Theil des Gesichtsfeldes die entgegengesetzte chromatische Abweichung des Auges nicht einmal zu compensiren vermag. Wir werden weiterhin auf die Prüfung solcher Erscheinungen näher eintreten; hier wollten wir bloss die einfache Thatsache erwähnen, um die Richtigkeit der gegebenen Erklärung wenigstens für einen bestimmten Fall ausser Zweifel zu setzen.

- 129 Die graphische Darstellung zeigt zweitens, dass das relative optische Vermögen der Mikroskope gegen die stärkern und stärksten Vergrößerungen zu beträchtlich abnimmt, indem die entsprechenden Curven sich nach der rechten Seite hin ziemlich rasch der Abscissenaxe nähern und in den ungünstigsten Fällen sogar auf weniger als halbe Höhe heruntersinken. Man könnte hieraus den Schluss ziehen, dass die

*) Vgl. hierüber Fick, *Medizin. Physik* 4. Aufl. S. 340, und die Abhandlung von Volkman über das »Sehen« in R. Wagner's *Handwörterbuch der Physiologie*.

**) Vgl. hierüber Fick l. c. pag. 324.

praktische Optik noch lange nicht an der Grenze des Erreichbaren angekommen ist, und soweit es sich bloss um die Vervollkommnung des dioptrischen Bildes handelt, ist eine solche Schlussfolgerung auch vollständig gerechtfertigt. Da jedoch an der Grenze des Unterscheidungsvermögens ausschliesslich das Interferenzbild maassgebend ist, bei welchem die Kleinheit der Details hauptsächlich von der Grösse des Oeffnungswinkels abhängt, so wird dadurch die Sachlage wesentlich verändert. Der Oeffnungswinkel der stärksten Objective hat mit 480° für Luft bereits die Grenze erreicht, die überhaupt erreichbar ist, und das dadurch bedingte Unterscheidungsvermögen ist so ziemlich bis zu jenem Betrage gesteigert worden, über welchen hinauszukommen aus physikalischen Gründen unmöglich ist. *) Dagegen bleibt eine grössere Gleichmässigkeit der Correction in den verschiedenen Zonen des Objectivs, sowie etwas mehr Harmonie im Zusammenwirken der verschiedenen Factoren, welche die optische Kraft eines Systems bedingen, immer noch ein erstrebenswerthes Ziel, von dem die practische Optik einstweilen noch ziemlich entfernt ist.

Für die mittlern Vergrösserungen zwischen 300 — 400 Mal sind die Leistungen der angeführten Optiker mit Bezug auf das Unterscheidungsvermögen, wie man sieht, nahezu dieselben, während bei den schwächern Objectiven nicht unerhebliche Differenzen hervortreten. Diese letztern dürften jedoch in den meisten Fällen nicht sowohl im Können, als vielmehr im Wollen ihre Erklärung finden, weil der Grad der Vollkommenheit bei schwächern Systemen, die man meistens nur der grössern Uebersicht wegen benutzt, weniger ins Gewicht fällt, und folglich das Aufbieten aller Kräfte nicht so lohnend erscheint. Zu gering darf man indessen die Vorzüge eines guten Objectivs auch bei den schwächern Vergrösserungen nicht anschlagen; man wird sie im Gegentheil bei allen Untersuchungen, wo Schärfe der Bilder und grosse Uebersicht vereinigt sein sollen, wie z. B. bei Gefässbündeluntersuchungen, immer in hohem Grade schätzen lernen.

Die Prüfung der Mikroskope mittelst dioptrischer Bilder, die man all- 130
mählig bis zur Grenze der Unterscheidbarkeit verkleinert, gestattet natürlich mancherlei Modificationen. Man kann statt eines Drahtnetzes beliebige andere Gegenstände, kugelförmige, fadenförmige, quadratische etc. zur Beobachtung wählen und dabei nicht bloss die Unterscheidbarkeit, sondern auch die Erkennbarkeit der Form, z. B. die Ecken eines Quadrats oder Sechsecks, als Maassstab zur Vergleichung benutzen. Auch zwei oder mehrere punctförmige Oeffnungen in einem dunkeln Schirm liefern ein ganz brauchbares Probeobject, indem die Entfernung von der Luftblase so gewählt werden kann, dass die einzelnen Punkte im Bilde eben noch getrennt gesehen werden. Selbstverständlich sind jedoch die auf diese oder

*) Vgl. hierüber die Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung.

Nägeli u. Schwendener, Das Mikroskop. 2. Aufl.

jene Art erhaltenen Resultate nur unter sich, nicht aber mit dem auf einem andern Wege gefundenen Ziffern vergleichbar. Für die Erkennbarkeit der Form eines einzelnen Quadrats wird man z. B. bei einer bestimmten Vergrößerung ganz andere Grenzwerte erhalten, als für die Unterscheidbarkeit der quadratischen Maschen eines Drahtgeflechts, und dieselben Differenzen zwischen den absoluten Grössen treten auch bei der Beobachtung mit blossem Auge hervor. Dagegen ist es nicht wohl denkbar, dass die relativen Grössenverhältnisse, wie sie im Verlauf der Curven sich darstellen, wesentlich anders ausfallen.

Wir haben mehrere dieser Modificationen in Anwendung gebracht, jedoch immer gefunden, dass keine einzige derselben die nämliche Sicherheit der Beurtheilung gestattet, wie die zuerst erwähnte. Namentlich ist die Grenze der Erkennbarkeit bei kugelförmigen und fadenförmigen Objecten keineswegs leicht festzustellen und wird daher von verschiedenen Beobachtern auch in ziemlich abweichender Weise bestimmt. Dazu kommt, dass man zuletzt nicht mehr das scharfe Bild des Gegenstandes, sondern das von Zerstreuungskreisen gebildete verwischte Bild desselben beobachtet, welches wegen seiner grössern Ausdehnung etwas länger sichtbar bleibt. Es geht diess schon aus der Thatsache, dass die berechnete Grösse der Netzhautbildchen bei fadenförmigen Objecten oft entschieden kleiner ausfällt, als der Durchmesser der empfindenden Elemente*), unzweifelhaft hervor; denn es lässt sich nicht annehmen, dass diese letztern qualitativ verschiedene Reize als solche zum Bewusstsein bringen. In letzter Instanz hängt demnach die Sichtbarkeit einer dunkeln Linie auf hellem Grunde vorzugsweise davon ab, ob das beobachtende Auge einen schwachen Lichtausfall, welcher sich nur über einen Theil der Netzhautelemente erstreckt, noch wahrzunehmen vermag. Die vermeintliche Prüfung des Mikroskops läuft also wesentlich auf eine Prüfung des Auges hinaus.

Unter diesen Verhältnissen verzichten wir auf die Zusammenstellung unserer Messungen und verweisen Diejenigen, welche sich aus diesem oder jenem Grunde für solche Beobachtungen interessiren, auf das ausführliche Werk von Harting.

131 Die Prüfung der Objective mittelst Diatomeenschalen oder der Nobert-schen Probeplatte führt natürlich mit Rücksicht auf das relative Unter-

*) Die Stäbchenschicht, welche als das eigentlich lichtpercipirende Organ der Retina betrachtet wird, besteht im gelben Flecke (der am besten sehenden Stelle) bloss aus sogenannten Zapfen, deren Durchmesser c. 5 Mik. beträgt. Diese Grösse entspricht, wenn der Abstand des Knotenpunctes von der Netzhaut zu 15^{mm} angenommen wird, einem Sehwinkel von ungefähr 68" und bei einer Objectdistanz von 25 Cent. einem Durchmesser von 83 Mik. Nun sind aber nach Harting (Mikr. p. 298, 2. Aufl. I, p. 333) fadenförmige Objecte (oder eigentlich deren Luftblasenbildchen) bei 50maliger Vergrößerung noch mikroskopisch wahrnehmbar, wenn ihre wirkliche Dicke = 0,194 Mik. und folglich der Durchmesser des mikroskopischen Bildes = $50 \times 0,194 = 9,7$ Mik. beträgt. Das entsprechende Netzhautbildchen würde also nicht einmal den 8ten Theil eines Netzhautelementes einnehmen.

scheidungsvermögen *ceteris paribus* zu dem nämlichen Ergebniss, wie die Vergleichung der eben noch wahrnehmbaren Drahtnetzmaschen, immerhin vorausgesetzt, dass die verschiedenen Liniensysteme einigermaassen vergleichbar seien. Die Unterscheidungsgrenze dagegen erscheint wegen der abweichenden Natur der Details und der ungleichen Beleuchtungsweise gewöhnlich um eine kleine Grösse verschoben. So ist es z. B. eine bekannte Thatsache, dass Diatomeen mit schwächerer Streifung, auch wenn die Entfernung der Streifen genau dieselbe ist, stets schwieriger zu lösen sind, als solche mit stark ausgeprägten Liniensystemen. *Amphipleura pellucida* ist eben desshalb schwieriger als *Frustulia saxonica*, *Navicula rhomboides* schwieriger als *Nitzschia sigmoidea* etc., ob schon die betreffenden Streifenabstände paarweise annähernd gleich sind. Darin liegt denn auch der Grund, warum die organischen Probeobjecte sich viel weniger zu vergleichenden Untersuchungen eignen als Drahtnetzbildchen, oder selbst als die Liniensysteme der Nobert'schen Platte.

3. Definitionsvermögen.

Die im Vorhergehenden erwähnten Details der Testobjecte, welche als 132 Maassstab für die resolvirende Kraft der Objective gelten, haften, wie bereits erwähnt, ausschliesslich am Interferenzbild, welches durch die im Object abgebeugten und im Mikroskop wieder vereinigten Lichtbüschel erzeugt wird. Da nun diese Lichtbüschel bei der gewöhnlichen Beleuchtungsweise bloss die Randzone des Objectivs durchsetzen, so können sie selbstverständlich über die Correctheit seiner Construction im Allgemeinen nur einen höchst mangelhaften Beleg gewähren. Es ist daher nothwendig, den Strahlengang im Objectiv noch durch anderweitige Mittel zu prüfen, welche in erster Linie den centralen Theil der Objectivöffnung zu beurtheilen gestatten. Mit andern Worten: neben dem Structurbild erheischt auch das Contourbild, welches durch directe Strahlen, und zwar vorzugsweise unter Betheiligung des mittlern Theils der Objectivöffnung, hervorgerufen wird, eine aufmerksame Prüfung. Diese wird am besten mit Objecten vorgenommen, welche im gleichen Niveau deutlich markirte Gegensätze zwischen Heller und Dunkler, oder, was dasselbe ist, scharfe Contouren an nicht zu kleinen Flächenelementen zeigen. Besonders geeignet sind verschiedengestaltige helle Stellen auf dunkeln Grunde, wie sie beispielsweise auf einem mit Tusche oder Stanniol bedeckten Objectträger leicht hergestellt werden können. Aber auch Bruchstücke von Diatomeenschalen, die bekanntlich sehr scharfe Ränder besitzen, bilden für diesen Zweck ein vortreffliches Testobject, und da sie überdiess, wie Abbe mit Recht betont, den Vortheil gewähren, gleichzeitig das Structurbild und dessen Congruenz mit dem dioptrischen Bilde prüfen zu können, so verdienen sie behufs einer raschen und doch hinlänglich zuverlässigen Orientirung unbedingt den Vorzug.

Solche Bruchstücke müssen jedoch, wenn sie den beiderseitigen Anforderungen genügen sollen, erstens vollständig eben und dabei so dünn sein, dass man Umrisslinien und Structurdetail als in der nämlichen Ebene liegend betrachten kann; sie müssen zweitens eine so markirte Zeichnung besitzen, dass die Beugungsbilder in Bezug auf Lichtstärke neben den von directen Strahlen herrührenden zur Geltung kommen können, was bei trocken liegenden Objecten immer in höherem Grade der Fall ist, als bei solchen, welche in Balsam präparirt sind.

Die Wahl der Objecte betreffend, so sind für schwächere und mittelstarke Objectivsysteme unter den gröbern Diatomeen und Insectenschuppen die nöthigen Abstufungen leicht zu finden; für die stärkern Nummern, speziell für die Immersionssysteme, ist dagegen die Auswahl beschränkt. *Pleurosigma angulatum* in Bruchstücken von grössern und kleinern Exemplaren dürfte in den meisten Fällen das empfehlenswerthe Object sein. Nach Abbe ist es in der That selbst für die stärksten Systeme noch sehr gut brauchbar, wenn man sich Bruchstücke von recht zarten Exemplaren aussucht und das Augenmerk nur auf die Beschaffenheit des Bildes zunächst dem Rande richtet. Zur Prüfung der stärksten Trockensysteme können die gröbern Exemplare desselben Objects, gleichfalls in Bruchstücken, verwendet werden, wiewohl die Zeichnung für einen Oeffnungswinkel von c. 400° schon etwas zu fein ist.

Bezüglich der Beleuchtungsweise, die man bei der Prüfung anzuwenden hat, empfiehlt Abbe in erster Linie zwei bestimmte Spiegelstellungen, welche ohne alle weitem Hülfsmittel einen möglichst empfindlichen Strahlengang herbeizuführen gestatten. Die eine Stellung erhält man, wenn man den Spiegel senkrecht zu einem Streifensystem des Objects so weit verstellt, dass beiläufig der eine Rand in die Axe des Mikroskopes fällt. Die directen Strahlen bilden alsdann einen schwach geneigten Lichtkegel, der mit einer Seitenlinie das Centrum des Objectivs streift und folglich den mittlern oder innern, wenn auch excentrischen Theil der Oeffnung in Anspruch nimmt; die abgebeugten Strahlen dagegen durchsetzen auf der gegenüberliegenden Seite die Randzone des Objectivs und erzeugen mit den directen ein von dieser Zone abhängiges Structurbild. Die zweite Spiegelstellung ist die der möglichst schiefen Beleuchtung. In diesem Falle vertauschen die beiden Lichtkegel ihre Stellung; der directe geht durch den peripherischen, der abgebeugte durch den centralen Theil des Objectivs.

Bei einer correcten Construction soll nun in beiden Fällen das Contourbild nicht bloss in gleichbefriedigender Schärfe hervortreten, sondern überdiess mit dem Structurbild ohne Niveaudifferenz und ohne seitliche Verschiebung zusammenfallen. Genügt ein Objectiv diesen Anforderungen wenigstens in der Mitte des Gesichtsfeldes, so kann man darauf zählen, dass es von den zu untersuchenden Objecten stets richtige Bilder liefern wird. Uebrigens ist es leicht, das Urtheil über das zu prüfende Linsensystem

nachträglich noch zu vervollständigen, indem man ausser den zwei besprochenen Spiegelstellungen auch beliebige andere in Anwendung bringt.

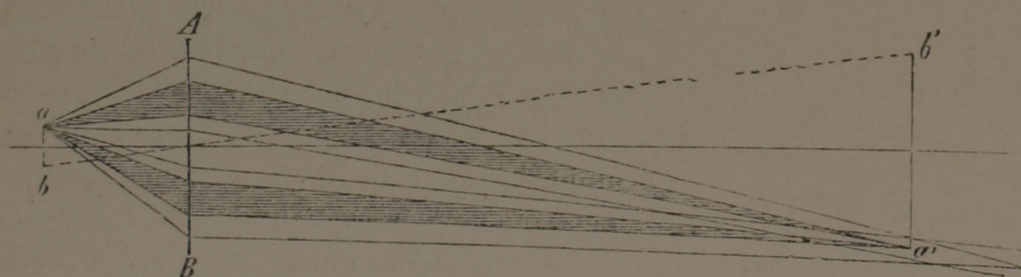
II.

Prüfung der sphärischen Aberration.

Wir stellen uns jetzt, nachdem wir die Methoden erörtert, welche das 133
optische Vermögen des Mikroskops im Allgemeinen zu prüfen gestatten, die weitere Aufgabe, die verschiedenen Momente oder Factoren zu untersuchen, welches jenes Vermögen bedingen. Unter diesen Factoren nimmt erfahrungsgemäss die sphärische Aberration die erste Stelle ein; sie festzustellen und die jedesmalige Wirkung der angewendeten Linsencombination genau zu ermitteln, ist daher namentlich für den Optiker, wenn er nicht im Finstern herumtappen will, eines der wichtigsten Probleme.

Es handelt sich dabei in der Praxis zunächst um die Frage, wie das Vorhandensein der sphärischen Aberration sich im mikroskopischen Bilde kundgebe, und in zweiter Linie um die Entscheidung, ob dieselbe auf eine Unterverbesserung oder Ueerverbesserung des Objectivs hindeute. Damit ist freilich die Aufgabe, wie man leicht einsieht, noch keineswegs in ihrem ganzen Umfange gelöst; denn es liesse sich ja denken und kommt auch in der That häufig genug vor, dass das Objectiv für die mittlern Strahlen, beispielsweise bis zu einer Neigung von $10-15^\circ$, unterverbessert, für die Randstrahlen dagegen überverbessert wäre. Da jedoch der Praktiker nur auf den vorwiegenden Effect sieht, so betrachtet er ein Linsensystem als möglichst aplanatisch, wenn entweder der grössere centrale Theil, oder, was viel häufiger vorkommt, der grössere peripherische Theil des einfallenden Strahlenkegels keine merklichen Aberrationen zeigt.

Die Wirkung der sphärischen Aberration im Allgemeinen lässt sich 134
leicht durch die Construction veranschaulichen. Ist ab (Fig. 89) ein selbst-



Figur 89.

leuchtendes Object, dessen Strahlenkegel die Oeffnung des Objectivs AB ganz ausfüllen, und nehmen wir an, die von a und b ausgehenden Lichtstrahlen vereinigen sich nach der Brechung zum grössern Theil (in der

Figur ist diess für die Strahlen mittlerer Neigung angenommen) in den Punkten a' b' , während die übrigen nach etwas näher oder entfernter liegenden, übrigens mehr oder weniger von einander abstehenden Punkten convergiren, wie es in der Figur für ein mittleres und ein peripherisches Strahlenpaar angedeutet ist. Alsdann kommt in a' das reelle Bild des Punktes a zu Stande, ebenso in b' das Bild von b und folglich in den zwischenliegenden Punkten die Bilder der entsprechenden des Objects. Eine durch die Punkte a' und b' gelegte bildauffangende Ebene würde aber, wie die Construction zeigt, ausserhalb dieser Punkte noch von Strahlen getroffen, deren Kreuzungspunkte nach unserer Annahme vor oder hinter diese Ebene fallen. Und zwar rühren diese Strahlen nicht bloss von den äussersten Randpunkten des Objects a und b her, sondern auch von den benachbarten bis zu einer gewissen Entfernung vom Rande, von wo an auch die aberrirenden Strahlen die Projectionsfläche des Bildes treffen. Das beobachtende Auge muss also, wenn es das vom Objectiv entworfene Bild durch das Ocular (in welchem die Ebene der Blendung den bildauffangenden Schirm darstellt) beobachtet, ausserhalb der Ränder a' und b' der leuchtenden Bildfläche noch einen Lichtschimmer wahrnehmen, welcher von den mit Aberration behafteten Strahlen herrührt.

Die Prüfung der Aberrationsverbesserung kann also einfach dadurch geschehen, dass man eine kleine leuchtende Fläche oder ein reelles oder virtuelles Bild, das sich wie eine solche Fläche verhält, als Object unter das Mikroskop bringt und dafür Sorge trägt, dass von der Umgebung kein Licht ins Auge gelangt. Je schwächer alsdann der Lichtschimmer, welcher das mikroskopische Bild umgiebt, um so vollständiger ist die Aberrationsverbesserung.

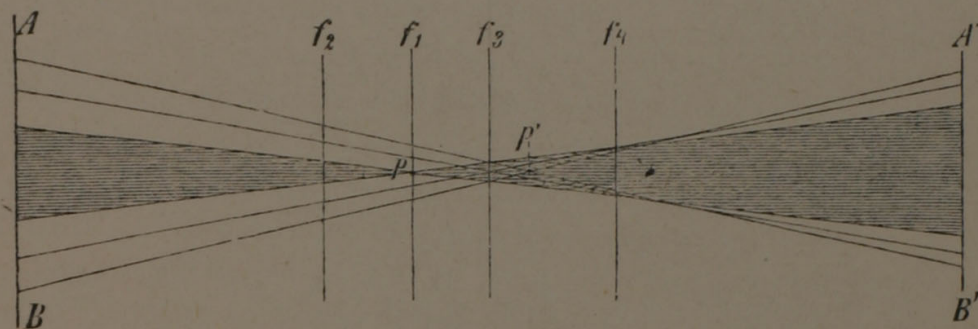
- 135 Die Herstellung eines geeigneten Objectes betreffend, kennen wir kein besseres Mittel als das, welches im Princip schon Mohl und später auch Harting in Anwendung gebracht hat. Man bedeckt eine Glasplatte durch wiederholtes Auftragen mit dem Pinsel mit einer hinreichend dicken, vollkommen undurchsichtigen Schicht von chinesischer Tusche, in welche man hierauf mit einer feinen Nadel oder einem Messer feine Punkte oder Linien, welche das Licht durchlassen, einschneidet. Man kann auch einfach die Platte längere Zeit liegen lassen; es bilden sich dann in Folge der Zusammenziehung der Tuscheschicht eine Unzahl von kleinen, scharf berandeten Oeffnungen in derselben, welche noch besser als die künstlichen zur Prüfung geeignet sind. Noch zweckmässiger, aber freilich nicht so leicht herstellbar, sind die von Abbe angewandten, mit einem dünnen Gold- oder Silberniederschlag bedeckten Glasplättchen, auf deren Metallschicht mittelst der Theilmaschine gröbere und feinere Liniengruppen eingeritzt sind. Dunkle und helle Stellen liegen hier genau in derselben Ebene, und die verschiedenen Gruppen bieten die erforderlichen Abstufungen für stärkere und schwächere Objectivsysteme.

Bei dem Gebrauche muss natürlich die Bedingung erfüllt werden, welcher überhaupt jedes Probeobject genügen soll, dass nämlich die Strahlenkegel, welche von den leuchtenden Puncten ausgehen, die ganze Oeffnung des Objectivs ausfüllen (was Mohl und Harting, wie es scheint, nicht berücksichtigt haben). Zu diesem Ende muss bei schwächern Objectiven die Blendung entfernt oder hinreichend gross gewählt und der Spiegel genähert, bei stärkern aber eine Beleuchtungslinse oder ein geeignetes Objectivsystem eingeschaltet werden, um die Convergenz der einfallenden Strahlen in entsprechendem Grade zu verstärken. Hat das zu prüfende Objectivsystem beispielsweise eine Oeffnung von 60° , so muss dem auf die Glasplatte einfallenden Beleuchtungskegel eine mindestens eben so grosse Oeffnung gegeben werden.

Die übrigen Objecte, welche von den Mikrographen empfohlen worden sind, wie z. B. die von einer Luftblase oder einem Quecksilbertropfen (auf dunkler Unterlage) entworfenen Bildchen der Fensterrahmen, sind unseres Erachtens nicht so geeignet, um den Grad der Aberrationsverbesserung darnach zu bemessen, als die erwähnten wirklichen Oeffnungen in einem sonst schwarzen Gesichtsfelde. Letztere gewähren nämlich den wesentlichen Vortheil, dass ein Zurückziehen der Blendung oder des Beleuchtungsapparates die Randzone des Objectivs ausser Wirkung bringt und folglich den Beobachter in den Stand setzt, die Prüfung successive auf einen immer kleinern centralen Theil der brechenden Flächen zu beschränken. Man macht öfter die Wahrnehmung, dass der starke Lichtschimmer, welcher das mikroskopische Bild umsäumt, sogleich verschwindet, sobald die äussersten Randstrahlen abgeschnitten werden, während er in andern Fällen nur unmerklich abnimmt und daher vorzugsweise von den mittlern Strahlen herrührt. Solche Verschiedenheiten festzustellen, ist natürlich mit eine Aufgabe der Prüfung; sie kann aber mittelst Quecksilbertropfen und Luftblasen nur dadurch gelöst werden, dass man die entsprechenden Blendungen am Objectiv anbringt. Dazu kommt, dass weder die Fensterrahmen noch die Umgebungen des Fensters hinreichend dunkel sind, um in einem katoptrischen oder dioptrischen Bilde einen schwarzen Hintergrund zu bilden, woraus dann folgt, dass das Vorhandensein eines schwachen Lichtnebels sich weniger leicht erkennen lässt. Mit Rücksicht hierauf würden wir eine grosse kugelförmige Luftblase, welche das Bild einer kleinen, dazu noch zurückgezogenen Blendungsöffnung entwirft, einem Quecksilbertropfen noch vorziehen, weil wenigstens die Umgebung des Bildchens bis zum innern hellen Ring vollkommen schwarz erscheint. Der Lichtschimmer, den ein solches Bildchen hervorruft, fällt aber immer etwas schwächer aus, als bei einer wirklichen Oeffnung, weil die Randstrahlen durch theilweise Reflexion an der Oberfläche der Luftblase beträchtlich geschwächt werden.

Die Beantwortung der weitern Frage, ob ein mit Aberration behaf- 136

tetes Objectiv unter- oder überverbessert sei, stützt sich auf die Erscheinungen, welche eine höhere oder tiefere Einstellung des Oculareinsatzes oder, was im Wesentlichen auf dasselbe herauskommt, die Vergrößerung oder Verkleinerung der Objectdistanz hervorruft. Denken wir uns vorerst den einfachen Fall, dass die vorkommenden Abweichungen sämtlich in demselben Sinne stattfinden, so zwar, dass die Brechung im Objectiv vom Centrum nach der Peripherie, wenn sie überhaupt eine Veränderung erleidet, continuirlich zu- oder abnimmt, so lassen sich die Wirkungen einer veränderten Einstellung leicht überblicken. Ist wieder AB (Fig. 90) das Objectiv, p der Vereinigungspunct oder der kleine Vereinigungsraum aller



Figur 90.

mittlern Strahlen bis zu einer gewissen Neigung und pp' die grösste Längenabweichung der Randstrahlen, für welche also das Objectiv überverbessert ist; so wird das reelle Bild auf einem auffangenden Schirm sich offenbar dann am schärfsten darstellen, wenn derselbe mit einer durch den Punct p gelegten Ebene f_1 zusammenfällt; es erscheint aber umsäumt von einem Lichtnebel, der von den in der Umgebung auffallenden Randstrahlen herrührt. Wird jetzt der Schirm weiter nach links in die Lage f_2 gebracht, so schneidet er sowohl den bilderzeugenden centralen Kegel, als die aberrirenden peripherischen Strahlen in einer grössern Fläche; das Bild muss sich folglich verwischen, während der Lichtnebel an Umfang und Breite zunimmt. Findet dagegen die Verschiebung in der entgegengesetzten Richtung statt, so wird der Querschnitt durch die gesamte Strahlenmasse zunächst kleiner und erreicht in f_3 , wo die peripherischen Strahlen sich mit den bilderzeugenden kreuzen und folglich der Lichtnebel verschwindet, sein Minimum. Der Schirm wird also in f_3 durch einen kleinen, scharf begrenzten Lichtkreis erhellt. Weiter nach rechts hin nimmt der letztere an Umfang wieder zu; er behält aber die nämlichen scharfen Umrisse, weil die peripherischen Strahlen sich innerhalb derselben projectiren. In der Nähe von f_4 erscheint sogar die Randzone des Lichtkreises entschieden heller, weil die aberrirenden Strahlen sich hier der Oberfläche des centralen Kegels nähern; sie sticht also noch entschiedener als vorher gegen die dunkle Umgebung ab.

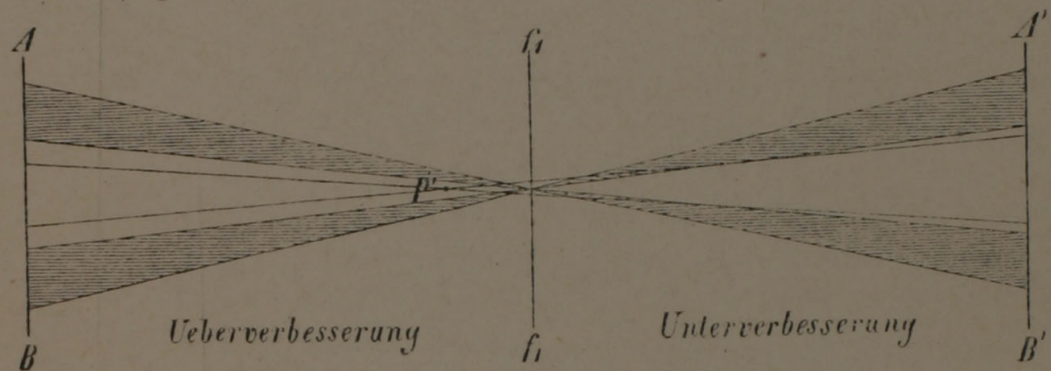
Gerade umgekehrt sind die Erscheinungen, wenn die sphärische Aberration für die peripherischen Strahlen unterverbessert ist. Um die nämliche Construction auch auf diesen Fall anzuwenden, denken wir uns in obiger Figur das Objectiv in $A'B'$, statt in AB . Der Strahlenverlauf entspricht alsdann der entgegengesetzten Abweichung, und dieselbe Bewegung des Schirmes, die in Bezug auf AB eine Annäherung war, ist ein Fernerrücken in Bezug auf $A'B'$. Selbstverständlich bleiben aber die Projectionen der gesamten Strahlenmasse in den verschiedenen Lagen dieselben.

Ist also das Mikroskop möglichst genau auf die leuchtende Fläche eingestellt, so hat das Hineinschieben des Oculars bei einem überverbesserten Instrument ein stärkeres Hervortreten des Lichtnebels, bei einem unterverbesserten dagegen die Bildung einer scharf begrenzten, am Rande etwas hellern Lichtscheibe zur Folge, während das Herausziehen des Oculars natürlich jedesmal die entgegengesetzte Erscheinung hervorruft. Den nämlichen Effect erzielt man auch, wenigstens innerhalb der in Betracht kommenden Grenzen, wenn für die Verschiebungen des Oculars, die ohne besondere Vorrichtungen mit mancherlei Unbequemlichkeiten verbunden sind, entsprechende Verschiebungen des Objects substituirt werden. Statt das Ocular mit Rücksicht auf das Objectiv näher oder entfernter zu rücken, nähert oder entfernt man das Object, senkt oder hebt man die Mikroskopröhre. Wo demnach eine tiefere Einstellung einen stärkern Lichtnebel, eine höhere einen scharf begrenzten Lichtkreis hervorruft, besteht Ueverbesserung; wo die Erscheinungen in umgekehrter Folge hervortreten, Unterverbesserung.

Zu diesen Wirkungen der sphärischen Aberration, die für sich allein schon sehr deutlich in die Augen fallen, gesellen sich noch diejenigen der chromatischen, welche in der Regel die Gegensätze noch steigern. Der Lichtnebel erscheint in Folge dessen bläulich und die Lichtscheibe erhält einen grünlich-gelben, aussen meist deutlich rothen Saum, der bis zu einer gewissen Grenze um so entschiedener hervortritt, je grösser sein Durchmesser. Die Unterscheidung der unter- und überverbesserten Aberration wird dadurch noch wesentlich erleichtert.

In mikrographischen Werken wird als ferneres Criterium der beiden 137 entgegengesetzten Aberrationen noch hinzugefügt, dass die Details der Zeichnung im Bildchen, wie z. B. die Fensterrahmen bei Benutzung von Quecksilbertropfen, in welchen das Fenster sich spiegelt, oder die Formen der Ränder kleiner Oeffnungen in einem sonst schwarzen Gesichtsfelde, bei der Annäherung des Objectes auf einmal, beim Fernerrücken dagegen langsam verschwinde, wenn das Objectiv unterverbessert sei, und umgekehrt bei einem überverbesserten Instrument. So allgemein ausgesprochen ist diese Angabe offenbar unrichtig, und es stellt sich diess auch bei der

experimentellen Prüfung heraus *). In unserem speciellen Fall, wie er in Fig. 90 dargestellt ist, müsste sogar das gerade Gegentheil stattfinden. Denn es ist einleuchtend, dass eine Verschiebung des bildauffangenden Schirms in der Richtung von f_1 nach f_4 die Schärfe des Bildes weniger beeinträchtigt, als die entgegengesetzte, weil alle Vereinigungspunkte der peripherischen Strahlen und folglich auch die denselben entsprechenden Bilder rechts von f_1 , zwischen p und p' , liegen. Eine Verschiebung in dieser Richtung entspricht aber bei einem unterverbesserten Mikroskop einer Annäherung, bei einem überverbesserten einem Fernerrücken des Objects. Ist dagegen das Objectiv so construiert, dass die Randstrahlen des Lichtkegels bis zu einem gewissen Minimum der Neigung die bilderzeugenden sind, während die Centralstrahlen nach der einen oder andern Seite hin aberriren (Fig. 91), dann allerdings trifft die von den Mikrographen aufge-



Figur 91.

stellte Regel zu. Es ist diess aber nur eine der mancherlei Combinationen, die sich denken lassen, und wenn sie auch möglicher Weise am häufigsten vorkommt (was wir übrigens bezweifeln), so ist es doch nicht gestattet, sie bei der Prüfung ohne Weiteres vorauszusetzen. Wir können daher das langsamere oder raschere Verschwinden des Bildchens beim Heben oder Senken des Focus nicht als Criterium der Ueber- oder Unterverbesserung gelten lassen, es sei denn, dass seine Anwendbarkeit vorher auf irgend eine Weise erwiesen worden.

- 138 Bei dem in Fig. 91 dargestellten Strahlenverlauf bedingt die Einstellung des bildauffangenden Schirmes (oder des Oculareinsatzes) auf die Ebene $f_1 f_1$, in welcher das Objectivbild zu Stande kommt, nothwendig einen schwachen, von den Centralstrahlen herrührenden Lichtschimmer, der indess bei einer kleinen Verschiebung nach rechts oder links sogleich verschwindet. Dabei ist es vollkommen gleichgültig, ob das Objectiv in AB oder in $A'B'$ gedacht werde; der Lichtkreis, der sich bei veränderter Einstellung auf dem Schirme ausbreitet, erscheint im einen wie im andern

*) Wir haben seiner Zeit ein Objectivsystem kennen gelernt, welches bei richtiger Einstellung das Luftblasenbildchen unseres Drahtgeflechtes sehr scharf wiedergab. Das Bild verschwand beim Heben und Senken des Tubus ziemlich rasch, kam jedoch bei stärkerer Hebung abermals, nur etwas verschwommen, zum Vorschein.

Fälle vollkommen scharf begrenzt. Die sphärische Aberration giebt sich also bei einem solchen Strahlenverlauf nur in der Ebene des Bildes kund und zwar durch einen Lichtnebel, der beim Zurückziehen der Blendung, wodurch die Oeffnung des gesamten wirksamen Strahlenkegels verkleinert wird, keine merkliche Veränderung zeigt.

Kommen dagegen zu den bilderzeugenden peripherischen Strahlen noch weitere hinzu, welche wie die mittlern mit Aberration behaftet sind, so werden die Erscheinungen complicirter. Die Randstrahlen deuten alsdann durch die Wirkung, die sie bei höherer und tieferer Einstellung hervorbringen, auf Ueber- oder Unterverbesserung, gleichviel, ob die Centralstrahlen in der nämlichen oder in der entgegengesetzten Richtung aberriren. Es ist in diesem Falle nöthig, die Blendung so lange zu verkleinern oder zurückzuziehen, bis der bläuliche Lichtschimmer sich bei mittlerer Einstellung nicht weiter verändert und bei tieferer oder höherer Einstellung total verschwunden ist. Die zurückgebliebenen Spuren der Aberration können alsdann nur noch von den Centralstrahlen herrühren, und das oben erwähnte Criterium der Unter- und Ueerverbesserung, nämlich das raschere oder langsamere Verschwinden des Bildchens beim Heben oder Senken der Mikroskopröhre, findet — wie aus der Construction ohne Weiteres hervorgeht — seine Anwendung. Man wird indess in den meisten Fällen, wenn die Aberration der Centralstrahlen nicht einen sehr erheblichen Grad erreicht, ziemlich unsichere Resultate erhalten, weil auch die bilderzeugenden Strahlen sich nicht, wie wir vorausgesetzt haben, genau in demselben Punkte schneiden, sondern zum Theil mit der entgegengesetzten Längenabweichung behaftet sind. Die Umrisse des Bildchens verschwinden alsdann weder bei höherer noch bei tieferer Einstellung plötzlich, und es ist schwer zu sagen, welche von beiden langsamer wirkt. Diess ist auch der Grund, warum wir auf die Erörterungen weiterer Combinationen, welche mit Rücksicht auf die Aberrationen der verschiedenen geneigten Strahlen vorkommen können, verzichten. Die Erscheinungen, welche man für diese oder jene Annahme theoretisch festgestellt hat, treten bei der experimentellen Prüfung zu sehr getrübt und unentschieden hervor, als dass sie zur Beurtheilung des Objectivs noch sichere Anhaltspunkte lieferten.

Das wirklich practische Prüfungsverfahren beschränkt sich also, wenn **139** wir das Vorhergehende kurz zusammenfassen, auf folgende Punkte.

1) Man giebt dem vom Spiegel kommenden Lichtkegel eine wenigstens eben so grosse Oeffnung, als sie das zu untersuchende Objectiv besitzt. Bei stärkern Objectiven geschieht diess durch Anwendung eines passenden Beleuchtungsapparates oder in Ermangelung desselben durch Einschalten einer 3—4^{mm} im Durchmesser haltenden Objectivlinse unter dem Objectträger.

2) Man stellt hierauf das Mikroskop auf diejenige Ebene ein, in welcher

die Details des Bildes, wie z. B. die Ränder kleiner Oeffnungen in einer geschwärzten Platte, am deutlichsten gesehen werden. Ist alsdann ein bläulicher Lichtnebel in der Umgebung des Bildchens bemerkbar, so ist die sphärische Aberration nicht gehörig corrigirt.

3) Um zu entscheiden, welche Strahlen des auffallenden Lichtkegels mit Aberration behaftet sind, ziehe man den Beleuchtungsapparat oder die Blendung allmählich zurück. Wenn alsdann der Lichtschimmer rasch abnimmt oder gänzlich verschwindet, so beschränkt sich die Aberration auf die Randstrahlen; behält er dagegen längere Zeit dieselbe Intensität, so liegt die Ursache der Erscheinung in den mittlern Strahlen. Im letztern Fall, welcher übrigens seltener vorkommt, muss der Lichtschimmer verschwinden, wenn der centrale Theil des Objectivs durch eine geeignete Blendung ausser Wirkung gesetzt wird.

4) Man prüft die Erscheinungen, welche eine höhere oder tiefere Einstellung hervorruft, wobei in zweifelhaften Fällen die Verschiebung des Oculars den Vorzug verdient. Die Uebersverbesserung des Objectivs mit Rücksicht auf die Randstrahlen ist hiebei daran zu erkennen, dass der bläuliche Lichtnebel bei tieferer Einstellung sich weiter ausbreitet, bei höherer dagegen sogleich verschwindet, so dass das mikroskopische Bild sich als scharf begrenzter, meist grünlichgelb eingefasster Lichtkreis darstellt. Die Unterverbesserung ist durch die nämlichen Gegensätze in umgekehrter Aufeinanderfolge charakterisirt.

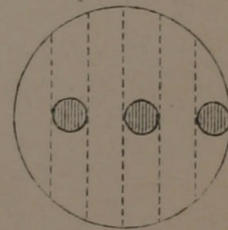
5) Die Aberration der Centralstrahlen lässt sich nur dann genauer ermitteln, wenn der dadurch hervorgebrachte Lichteffect ziemlich augenfällig ist — ein Fall, der nach unsern Erfahrungen fast gar nicht vorkommt.

6) Wenn die unter 4) erwähnten Erscheinungen unentschieden ausfallen, indem z. B. der Lichtschimmer sowohl bei höherer als bei tieferer Einstellung noch einige Zeit wahrnehmbar bleibt, so ist das ein Zeichen, dass im peripherischen Theil des Lichtkegels beiderlei Aberrationen vorkommen, vielleicht in Folge einer ungleichförmigen Krümmung der brechenden Flächen.

140 Ein sehr genaues und für die Praxis werthvolles Prüfungsverfahren hat in neuester Zeit Abbe*) vorgeschlagen. Dasselbe zielt darauf ab, das Zusammenwirken sämmtlicher Zonen der Objectivöffnung in der Mitte und am Rand des Gesichtsfeldes zur Anschauung zu bringen und dabei dennoch die Bilder, welche sie einzeln gewähren, deutlich unterscheidbar zu erhalten. Zu diesem Behufe wird die Beleuchtung durch geeignete Blendungen (Cartondiaphragmen mit mehreren Oeffnungen), am besten mit Hülfe des oben (p. 99) beschriebenen Apparates, so regulirt, dass gleichzeitig zwei oder drei isolirte Strahlenbüschel das Objectiv in eben so vielen entsprechend gelegenen Zonen durchsetzen. Die Spur eines dieser Lichtbüschel er-

*) Archiv f. mikrosk. Anat. Bd. 9, p. 434.

scheine z. B., wenn das Objectiv 6^{mm} Oeffnung besitzt, in der hintern Focalebene unmittelbar neben dem Centrum als helle rundliche Scheibe von 4^{mm} Durchmesser (Fig. 92, der mittlere Kreis); eine zweite Spur befinde sich auf der entgegengesetzten (linken) Seite und reiche von 1 bis zu 2^{mm} Abstand vom Centrum; die dritte endlich sei wieder auf der rechten Seite am Rande. Eine solche Anordnung giebt den empfindlichen Strahlen-
gang, bei welchem alle Correctionsmängel am stärksten zur Geltung kommen. Stellt man nun das Mikroskop auf eine der oben (p. 450) erwähnten Probeplatten ein, bei welchen durchsichtige und undurchsichtige Linien ohne Niveaudifferenz neben einander liegen, so liefert jedes Lichtbündel von einer das Gesichtsfeld ausfüllenden Liniengruppe sein besonderes Bild, und die drei partiellen Bilder fliessen bei einer bestimmten Einstellung nur dann in ein einziges farbenfreies und scharf contourirtes Gesamtbild zusammen, wenn das Objectiv absolut vollkommen ist. In



Figur 92.

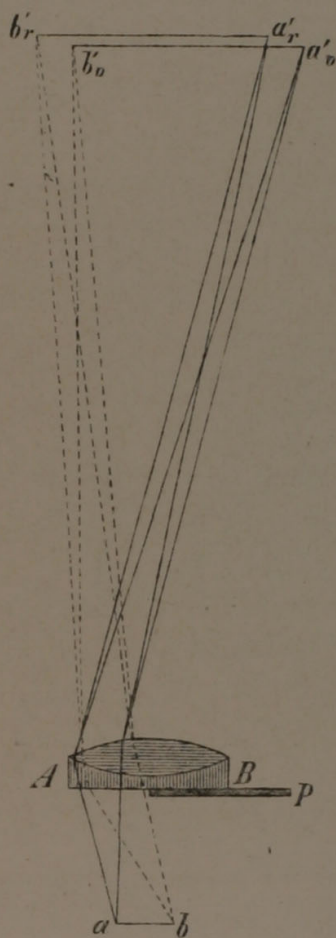
jedem andern Fall kommt eine vollständige Deckung entweder gar nicht oder doch nur in einem Theil des Gesichtsfeldes zu Stande, während an andern Stellen die correspondirenden Linien seitlich gegen einander verschoben oder in ungleichem Niveau sichtbar sind. Dazu kommen dann in Folge der chromatischen Aberration noch die Farbensäume der hellen Linien, welche je nach der Lage im Gesichtsfelde oft sehr verschiedenartig ausfallen. »Ein derartiges Probestück, sagt Abbe, legt den ganzen Correctionszustand eines Mikroskops in allen Einzelheiten gleichzeitig vor Augen. Mittelst der Anleitung, welche die Theorie zur Diagnose der verschiedenen Abbildungsfehler giebt, genügt die Vergleichung der Farbensäume der einzelnen partiellen Bilder, die Beobachtung ihres lateralen Auseinandertretens und ihrer Niveaudifferenzen, in der Mitte des Sehfeldes und in den vier Quadranten der Randzone, alle Correctionsmängel in ihren letzten Bestandtheilen nach Art und Grösse genau zu definiren.« — Wir bemerken noch, dass die im Vorhergehenden erwähnten »Testplatten nach Abbe« im Katalog von C. Zeiss zu 3 Mark angesetzt sind.

III.

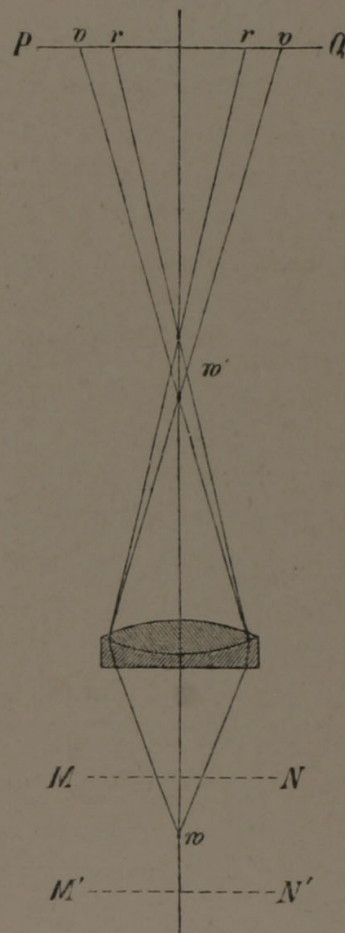
Prüfung der chromatischen Aberration.

Das einfachste und zuverlässigste Mittel, die chromatische Aberration **141** eines Linsensystems zu prüfen, besteht darin, die eine Hälfte der vordern (oder nöthigenfalls hintern) Endfläche mit einem Papier- oder Stannioblättchen zu bedecken, so dass nur die andere Hälfte optisch wirksam bleibt.

Bringt man alsdann eine Lichtlinie oder eine kleine leuchtende Fläche (z. B. eine kleine Oeffnung in einer geschwärzten Platte) als Object unter das Mikroskop, so erscheint dasselbe in einem vollkommen achromatischen Instrument farblos, in einem über- oder unterverbesserten dagegen auf der einen Seite blau, auf der andern roth-orange oder gelb berandet. Welche Anordnung diese Farben je nach der Art der Abweichung zeigen, lässt sich ohne Weiteres aus Fig. 93 entnehmen. Es sei AB das zu untersuchende Objectiv, dessen rechte Hälfte, durch die Blendung P bedeckt ist. Da nun die offen gelassene linke Hälfte wie ein Prisma wirkt, so müssen, wenn die chromatische Aberration unverbessert ist, die verschiedenfarbigen reellen Bilder des Objects ab sich offenbar so verschieben, dass das violette



Figur 93.



Figur 94.

(a'_v, b'_v) auf der rechten, das rothe (a'_r, b'_r) auf der linken Seite am weitesten vorsteht. Das mikroskopische Bild erhält also auf der rechten Seite einen violetten oder blauen, auf der linken einen rothen oder orangefarbenen Saum. Ist dagegen die chromatische Aberration überverbessert, so erscheint die linke Seite violett und die rechte roth oder orange.

- 142 In dem Vorhergehenden findet auch die von Mohl und Harting empfohlene Methode ihre Begründung. Sei w (Fig. 94) die als Object dienende selbstleuchtende Fläche, z. B. der virtuelle Brennraum einer Luftblase oder

eines Quecksilbertropfens. Die mittlere Einstellung giebt alsdann ein scharfes, meist ganz farbloses Bild, weil die einfallenden Lichtkegel die ganze Oeffnung des Objectivs ausfüllen und die entgegengesetzten Aberrationsfarben der rechten und linken Hälfte sich zu Weiss ergänzen. Hebt man dagegen den Focus des Mikroskops in die Ebene MN , so werden dadurch die Bedingungen der Strahlenbrechung wesentlich geändert. Das eigentliche Bild kommt jetzt weiter unten in der Mikroskopröhre bei w' zu Stande; das Ocular erhält also bloss die davon ausgehenden divergirenden Strahlen, die sich auf der bildauffangenden Ebene PQ als Lichtkreis projectiren. Jede Hälfte des Oculars wirkt also gesondert: ein beliebiger Sector des Lichtkreises wird von einem entsprechenden, aber opponirten Sector des Objectivs entworfen und zeigt daher auch die Spuren der dem letztern eigenthümlichen Aberration. Ist das Objectiv unterverbessert, werden also die violetten Strahlen (v) stärker gebrochen als die rothen (r), so erhält der Lichtkreis, wie man ohne Weiteres aus der Construction ersieht, einen blauen, im Fall einer Ueerverbesserung dagegen einen rothen Saum.

Ebenso lässt sich durch eine ganz ähnliche Betrachtung darthun, dass wenn das Mikroskop auf die tiefer gelegene Ebene $M'N'$ eingestellt wird, die entgegengesetzten Farben zum Vorschein kommen müssen. Ein rother Saum deutet alsdann auf Unterverbesserung, ein blauer auf Ueerverbesserung.

Dieses Prüfungsverfahren ist unstreitig sehr einfach und theoretisch betrachtet vollkommen begründet. Man wird jedoch in den meisten Fällen die Ueberzeugung gewinnen, dass die zuerst erwähnte Methode bei kleinen Aberrationen entschiedenere Ergebnisse liefert. Will man das etwas umständliche Bedecken der Linsen vermeiden, so braucht man bloss eine kleine Oeffnung auf dunkeln Grunde als Object zu wählen, dieselbe in die Mitte des Gesichtsfeldes zu placiren und hierauf den Spiegel so weit seitlich zu schieben, dass er von der Axe des Mikroskops nicht mehr geschnitten wird. Es ist einleuchtend, dass alsdann der einfallende Lichtkegel nur die dem Spiegel opponirte Hälfte der Objectivvorderfläche trifft.

Will man nicht bloss die Hälften des Objectivs, sondern mehrere concentrische Zonen desselben, sowohl einzeln als in verschiedenen Combinationen, einer nähern Prüfung unterziehen, so eignet sich hiezu am besten das oben erwähnte Abbe'sche Verfahren. Man wähle z. B. eine Blendung mit zwei getrennten Oeffnungen und gebe denselben nach Herstellung der erforderlichen Beleuchtung eine solche Lage, dass das eine der wirksamen Lichtbüschel in der hintern Focalebene des Objectivs die Mitte der lichten Oeffnung, das andere den Rand derselben tangirt (vgl. Fig. 92 rechte Hälfte). Es genügt alsdann, die Blendung von rechts nach links zu verschieben, um auch die Zonen, welche zwischen Mitte und Rand liegen, nach einander auf die Probe zu stellen. — Gegenüber dem Abblenden des Lichtes

mittelst Stanniolblättchen u. dgl., welche man am Objectiv selbst anbringt und mit den nöthigen Oeffnungen versieht, gewährt dieses Verfahren nebst grösserer Bequemlichkeit den Vortheil, dass die durch kleine Blendungsöffnungen bewirkten Beugungseffecte gänzlich eliminirt sind.

- 144 Prüft man nun verschiedene Mikroskope in der angegebenen Weise, so wird man in der Mehrzahl der Fälle die Anzeichen einer entschiedenen Unterverbesserung oder Ueerverbesserung wahrnehmen. Die Objective, welche für die rothen und violetten Strahlen achromatisch sind und daher bloss die Farben des secundären Spectrums hervorrufen, sind nach unsern Erfahrungen ziemlich selten. Bei manchen Mikroskopen erscheinen die Farbensäume am Rande des Gesichtsfeldes viel intensiver als in dessen Mitte; ja es kann sogar vorkommen, dass die an einer Stelle des Gesichtsfeldes beobachtete Aberration an einer andern mehr centralen oder oppo-
nirten Stelle in die entgegengesetzte umschlägt. Diess ist z. B. bei den Objectiven Nr. 7 und 9 von Bénèche in einem sehr merklichen Grade der Fall. Andere sind für die Randpartieen des Gesichtsfeldes achromatisch, für die Mitte dagegen unterverbessert.

- 145 Wir haben im Vorhergehenden stillschweigend vorausgesetzt, dass die Farbensäume, welche von der chromatischen Aberration des Objectivs herrühren, von dem beobachtenden Auge unverändert gesehen werden. Diese Voraussetzung war für eine vorläufige Betrachtung zulässig, da es sich vor Allem um qualitative, nicht um quantitative Verschiedenheiten in den Erscheinungen handelte. Dieselbe ist jedoch, wie leicht einzusehen, in keinem Falle streng genommen richtig, weil sowohl die Brechungen im Ocular, als diejenigen im Auge des Beobachters selbst wieder mit Farbenzerstreuung verbunden sind. Beide Punkte, die Wirkung des Oculars und diejenige des Auges, verdienen daher eine eingehende Erörterung.

Was zunächst das Ocular betrifft, so ist es ein vielverbreiteter Irrthum, der in mikrophischen Werken und physikalischen Lehrbüchern stereotyp geworden, dass das Zusammenwirken der Collectiv- und Ocularlinse die fehlende Achromasie des Objectivs bis zu einem gewissen Grade ersetze. Die Sache wird gewöhnlich so dargestellt und begründet, dass man das rothe und violette Objectivbild, sowie die entsprechenden Bilder des Collectivs und des Oculars, in gewohnter Weise mit Hülfe der Richtungsstrahlen (d. h. der Strahlen, welche durch den optischen Mittelpunkt der Linsen gehen) construirt, wobei sich dann allerdings die Möglichkeit herausstellt, der Ocularlinse stets eine solche Lage zu geben, dass die schliesslichen virtuellen Bilder nahezu unter demselben Winkel gesehen werden und sich folglich decken müssen. Diese Theorie des Campani'schen Oculars, wie sie z. B. in Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik, in Harting's »Mikroskop« etc. entwickelt ist, entbehrt jedoch, wie im Folgenden gezeigt werden soll, jeder thatsächlichen Grundlage. Die Schlüsse sind zwar vollkommen richtig, aber die Voraussetzungen sind falsch.

Es wurde bereits früher darauf hingewiesen, dass das vom Collectiv entworfene reelle Bild unter ganz besondern Verhältnissen zu Stande kommt, in Folge deren die Construction desselben durch einfaches Ziehen der Richtungsstrahlen unstatthaft wird. Genau dasselbe gilt aber auch für das virtuelle Bild des Oculars. Jeder Punct dieser Bilder wird von einem andern Flächenelement der Linse entworfen als der benachbarte; je weiter der Bildpunct vom Centrum des Gesichtsfeldes absteht, um so weiter ist auch das betreffende Stück der brechenden Fläche vom Centrum der Linse entfernt. Dazu kommt, dass die einfallenden Lichtkegel, da wo sie die Linse treffen, so verschmälert sind, dass sie kaum einen Durchmesser von 1^{mm} besitzen, folglich beinahe wie einfache Strahlen gebrochen werden.

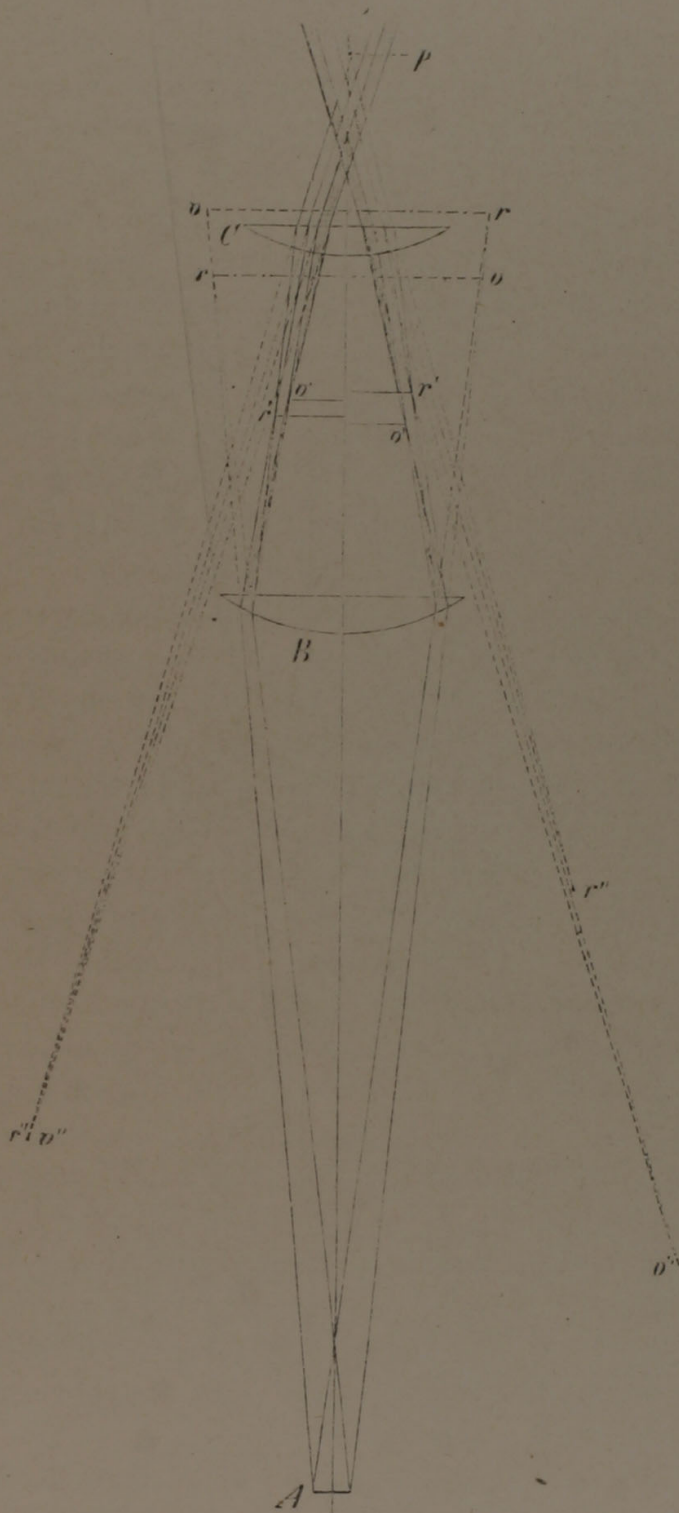
Nach dieser Feststellung der thatsächlichen Verhältnisse, welche die 146 herkömmliche Darstellungsweise ignorirt, wollen wir es versuchen, die Wirkung des Campani'schen Oculars durch eine Construction zu veranschaulichen, in welcher alle wesentlichen Factoren berücksichtigt sind. Es sei *A* (Fig. 95) das Objectiv, *B* das Collectiv und *C* das Ocular. Als Object mag das ganze Gesichtsfeld, oder eine kleine Oeffnung in einer geschwärzten Platte, oder irgend ein anderer Gegenstand angenommen werden, insofern er nur der Bedingung genügt, dass die von ihm ausgehenden Strahlenkegel die ganze Oeffnung des Objectivs oder doch wenigstens den centralen Theil derselben ausfüllen. Diess vorausgesetzt, werden die verschiedenfarbigen Strahlen offenbar so gebrochen, dass die einem bestimmten Objectpuncte entsprechenden ausfahrenden Lichtkegel die Axe mit einander gemein haben. Die Richtungslinien, in welchen die Spitzen verschiedenfarbiger Kegel liegen, sind also gegeben; nur das Niveau dieser Spitzen ist unbestimmt, weil abhängig von der Farbenabweichung des Objectivs. In unserer Figur entsprechen die beiden symmetrischen Lichtkegel, rechts und links von der Mittellinie, zwei opponirten Randpuncten des Objects. Da die Brechungen, welche sie erfahren, natürlich ebenfalls symmetrisch sind, so hätte es genügt, die Construction auf der einen Seite auszuführen und die Bildpuncte der andern in gleichen Abständen hinzuzufügen. Statt dessen wurden zur bequemern Vergleichung zwei entgegengesetzte Fälle neben einander gestellt: linker Hand der Strahlengang bei chromatischer Uebersverbesserung des Objectivs, rechter Hand derselbe bei eben so starker Unterverbesserung. Die Scheitel der violetten Strahlenkegel sind beiderseits mit *v*, die der rothen mit *r* bezeichnet; ebenso die entsprechenden Puncte des reellen Bildes mit *v'* und *r'*.

Es ist nun ohne Weiteres klar, dass die rothen Lichtbündel im Collectiv beiderseits die nämliche Ablenkung erfahren, weil sie dasselbe auch unter dem nämlichen Winkel treffen; ebenso die violetten. Die Kreuzungspuncte *o* und *p* der gleichnamigen Bündel liegen also nothwendig in der Axe. Betreffend die Lage der reellen Bildpuncte *v'* und *r'* ist wenigstens so viel sicher, dass auf der linken Seite *r'*, auf der rechten *v'* dem Collectiv

näher zu liegen kommt, als der gleichnamige Bildpunct der andern Seite. Der Abstand in der Richtung der Axe ist jedoch nothwendig kleiner, als derjenige der beiden r oder der beiden v , in unserer Figur also kleiner als

6.5^{mm} . Ebenso ist klar, dass bei gleichem Abstand der virtuellen Objecte v und r das violette Bild v' in etwas geringerer Entfernung vom Collectiv zu Stande kommt, als das rothe r' . Die beiderseitigen reellen Bilder müssen demnach ungefähr die Anordnung zeigen, wie sie in der Figur dargestellt ist.

Die Brechung im Ocularglas hängt natürlich, wie bereits oben (Nr. 61 und die vorhergehenden) gezeigt wurde, von der Lage des letztern ab. Liegt der Krümmungsmittelpunct der brechenden Kugelfläche zwischen den Kreuzungspuncten o und p , so findet die erste Brechung der beiden Lichtbündel in entgegengesetztem Sinne statt, und es lässt sich, je nach Bedürfniss, ein Verhältniss herstellen, welches die Divergenz derselben in einem beliebigen Grade mildert oder auch einen vollständigen Parallelismus herstellt. Zur Erreichung dieses Zieles ist übrigens die Brechung in entgegengesetztem Sinne keineswegs unerlässliche Bedingung. Der Umstand, dass die rothen Strahlen die Ocularlinse in grösserer Entfernung vom Centrum treffen als



Figur 95.

die blauen, und daher wegen der Kugelabweichung auch stärker gebrochen werden, genügt vollkommen, um solche Differenzen der Neigung

aufzuheben, ja sogar in die entgegengesetzten überzuführen. Erwägt man, dass die hierauf beruhenden Unterschiede in der Ablenkung um so bedeutender sind, je weiter das Ocular vom Collectiv absteht, so wird es sehr erklärlich, dass eine allmähliche Vergrösserung dieses Abstandes die Axen der ausfahrenden Bündel endlich zur Convergenz bringt. In diesem Falle treffen sie aber, rückwärts verlängert, die Ebene der virtuellen Bilder so, dass das Roth im Gesichtsfeld aussen, das Violett innen zu stehen kommt. Das Object erhält alsdann einen rothen oder orangefarbenen Saum. Umgekehrt bewirkt eine zu grosse Annäherung des Oculars an das Collectiv einen blauen Saum, weil die Divergenz der ausfahrenden Strahlen dadurch wieder gesteigert wird, so dass nunmehr die violetten Bündel das Gesichtsfeld weiter aussen treffen.

Aus dem eben Gesagten geht hervor, dass sich für jedes Auge eine bestimmte Stellung der Ocularlinse ausfindig machen lässt, bei welcher die austretenden verschiedenfarbigen Lichtbündel, rückwärts verlängert, genau in der Entfernung sich kreuzen, für welche dasselbe eingestellt ist. Sie vereinigen sich alsdann in einem Punkte der Netzhaut zu weissem Licht, und das resultirende Bild ist frei von Farbensäumen.

Bis hieher haben die gezogenen Schlüsse, wie leicht einzusehen, allgemeine Gültigkeit, da die Ueber- oder Unterverbesserung des Objectivs dabei gar nicht in Betracht kommt. Zur vollständigen Achromasie ist nun aber weiter erforderlich, dass die virtuellen Bilder von r' und v' , die wir schliesslich beobachten, in der nämlichen Entfernung zu Stande kommen, in welcher die entsprechenden Lichtkegel sich kreuzen. Mit andern Worten: die Axen der verschiedenfarbigen Lichtkegel müssen rückwärts nach denselben Punkten convergiren, von welchen auch die einzelnen Strahlen eines Kegels zu kommen scheinen. Offenbar kann diese Bedingung nicht gleichzeitig für die rechte und linke Seite der Figur erfüllt werden, weil die Entfernungen der gleichfarbigen reellen Bilder vom Ocularglas nicht die nämlichen sind. Wegen der Farbenabweichung *) des letzteren ist es sogar unerlässlich, dass v' etwas näher zu liegen komme als r' , wenn die virtuellen Bilder v'' und r'' coincidiren sollen. Die umgekehrte Anordnung, wie sie die Unterverbesserung des Objectivs mit sich bringt, ist somit unvereinbar mit den Bedingungen der Achromasie, — und insofern ist

*) Zur genauern Orientirung mögen folgende Ziffern dienen. Eine planconvexe Kronglaslinse, deren Krümmungsradius = 45mm , giebt für die Brennweite der violetten Strahlen $27,77\text{mm}$, für die rothen $28,84\text{mm}$, also eine chromatische Längenabweichung von 1mm . In gleicher Weise entsprechen sich auch die Brennweiten von $46,3$ und 48mm bei einem Krümmungsradius von 25mm . Wird die letztere Linse als Collectiv, die erstere als Ocular benutzt, und wird der Abstand des virtuellen Objects vom Collectiv zu 50mm angenommen, so kommt das violette Collectivbild in einem Abstand von 24mm zu Stande, und das rothe rückt noch um $\frac{1}{2}\text{mm}$ höher hinauf. Da nun die Farbenabweichung des Oculars gerade die entgegengesetzte Anordnung verlangt, so muss das Objectiv so stark überverbessert sein, dass die rothen Strahlen nach einem etwa 6mm tiefer liegenden Punkte convergiren.

die herkömmliche Darstellungsweise vollkommen begründet. Es folgt aber daraus noch keineswegs, dass ein unterverbessertes Objectivbild durch das Ocular einen rothen oder orangefarbenen Saum erhalte. Denn da die Bildpunkte v'' und v''' die Spitzen der ausfahrenden Lichtkegel sind und folglich beim Näher- und Fernerrücken der Ocularlinse sich etwas gegen einander verschieben (während die Abstände constant bleiben), so ist es immer möglich, denselben eine solche Lage zu geben, dass sie für das beobachtende Auge sich decken. In diesem Falle erscheint aber das resultirende Bild entweder vollkommen farblos oder doch nur von den Farben des secundären Spectrums umsäumt.

Die Beseitigung der blauen oder rothen Farbensäume bildet demnach noch kein Criterium der eigentlichen, wahren Achromasie; sie ist bei unterverbesserten und achromatischen Objectiven eben so gut möglich, als bei überverbesserten, — und insofern ist die gewöhnliche Darstellungsweise unrichtig *).

Vollkommen unhaltbar aber wird diese Darstellung, wenn das reelle Bild von einem excentrischen Theil des Objectivsystems, z. B. von der einen Hälfte desselben, entworfen wird — ein Fall, der bei mikroskopischen Untersuchungen weitaus am häufigsten vorkommt. Der Mangel an Achromasie muss sich alsdann, wie oben gezeigt wurde, dadurch kundgeben, dass die verschiedenen Farben seitlich gegen einander verschoben sind, so dass auf der einen Seite das Roth, auf der andern das Violett vorsteht. Es ist klar, dass unter solchen Verhältnissen eine Correction des Objectivbildes durch das Ocular absolut unmöglich wird. Die farbigen Säume können wohl etwas modificirt, aber niemals auf beiden Seiten zugleich zum Verschwinden gebracht werden.

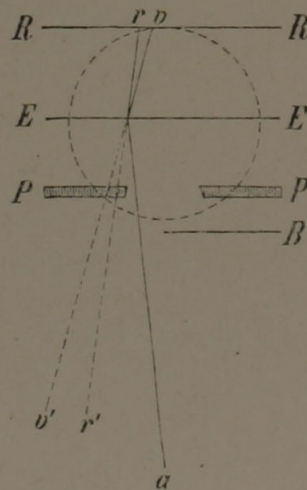
148 Die chromatische Aberration des Objectivs kann also, wir wiederholen es, durch die entgegengesetzte des Oculars nur in ganz bestimmten Fällen, in der Regel aber nicht beseitigt werden. Dasselbe gilt natürlich auch, und zwar ohne alle Einschränkung, von der sphärischen Aberration. Denn da die einfallenden Lichtkegel im Ocular gewöhnlich weniger als einen Quadratmillimeter der brechenden Flächen treffen, so ist bei den verhältnissmässig schwachen Krümmungen derselben nicht wohl anzunehmen, ja es ist geradezu unmöglich, dass eine irgend erhebliche Aberration noch stattfinden oder eine schon vorhandene compensirt werden könne.

So gelangen wir denn schliesslich zu dem Ergebniss, dass die Correctionsmängel, welche das mitgetheilte Prüfungsverfahren (wobei nur die Hälfte des Objectivs optisch wirksam ist)

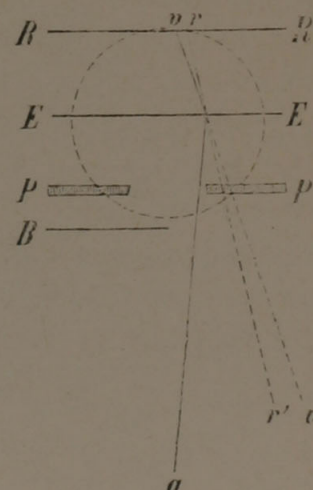
* Das Fehlen der Farbensäume beweist eigentlich nach Früherem nur, dass Collectiv und Ocular in der wirksamen peripherischen Zone ein für rothes und blaues Licht aplanatisches System bilden. Die Convergenzpuncte der verschiedenfarbigen Strahlenbündel kommen dabei nicht in Betracht.

zur Wahrnehmung bringt, in allen Fällen, wo sie entschieden hervortreten, einzig und allein auf das Objectiv zu beziehen sind.

Der zweite Punct, den wir zu berücksichtigen haben, nämlich die chromatische Aberration des Auges, ist im Princip als erledigt zu betrachten. Es ist vollkommen sicher, dass das Auge mit einer sehr merklichen Farbenabweichung behaftet ist, von der man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Pupille bis zur Hälfte bedeckt und den Blick nach irgend einem hellen Gegenstande, z. B. nach einer Fensterscheibe, richtet. Der eine Rand erscheint alsdann, ganz wie im mikroskopischen Bilde, deutlich blau, der andere orange oder gelb. Es kann also nur noch die Frage in Betracht kommen, ob diese Farbenabweichung diejenige des Mikroskops in einem erheblichen Grade zu steigern oder zu compensiren vermöge. Um hierüber Aufschluss zu erhalten, hat man nur nöthig, die aus dem Ocular hervortretenden Lichtbündel durch einen möglichst excentrischen Theil der Pupillenöffnung auf die Netzhaut gelangen zu lassen. Zu diesem Ende hält man das Auge ungefähr in der Höhe, in welcher diese Lichtbündel die optische Axe schneiden (in den sogenannten Augenspunct) und bewegt dasselbe so weit nach rechts und nach links, bis das mikroskopische Bild eben noch sichtbar ist. Man wird dabei immer beobachten, dass die rothen und blauen Ränder desselben je nach der Lage des Auges intensiver oder schwächer erscheinen, dass sie oft vollständig verschwinden oder sogar in die entgegengesetzten übergehen. Diese Erscheinungen lassen sich in jedem gegebenen Fall am leichtesten erklären, wenn man die Wirkung des blossen Auges auf weisses Licht als Ausgangspunkt wählt. Ist EE (Fig. 96 und 97) die Hauptebene des Auges, R die Retina und P die Pupille, welche durch die Blendung B in der angegebenen Weise zur Hälfte bedeckt ist, so muss ein farbloses Object a unter den in Fig. 96 dargestellten



Figur 96.



Figur 97.

Verhältnissen links blau und rechts roth berandet erscheinen, weil das violette Bild v eines beliebigen Objectpunctes auf der Netzhaut mehr rechts zu liegen kommt und daher vom Bewusstsein einem mehr links liegenden Gegenstand v' zugeschrieben wird. Deckt man dagegen, wie in Fig. 97, die linke Hälfte der Pupillenöffnung zu, so ist die Anordnung der Farbensäume, wie ein Blick auf die Construction zeigt, die entgegengesetzte.

Wo demnach in einem dioptrischen Bilde die nämlichen Farbensäume in gleicher Anordnung vorhanden sind, wie sie auch die Brechung im Auge hervorruft, da muss sie das letztere noch verstärkt zur Wahrnehmung bringen, während die entgegengesetzte Anordnung natürlicher Weise eine Verschmälerung und unter Umständen ein Verschwinden derselben zur Folge hat. Daraus folgt aber, dass die Aberration des Auges in allen Fällen, wo es sich um seitliche Verschiebungen der verschiedenfarbigen Bildpunkte handelt, eben so gut einem unterverbesserten, als einem überverbesserten Objectivbilde zu Gute kommen kann, da ja die Anordnung der Farben nur davon abhängt, ob die eine oder die andere Hälfte des Objectivs oder des Auges wirksam sei. Beruht dagegen die chromatische Aberration gleichzeitig oder ausschliesslich auf Niveaudifferenzen der verschiedenfarbigen Bilder, wie z. B. bei der Prüfung des optischen Vermögens mit dem Drahtnetz, so ist es einleuchtend, dass das Auge nur die entgegengesetzten Abweichungen zu mildern oder zu compensiren vermag. Dieser Umstand mag in der praktischen Optik einige Beachtung verdienen; entscheidend ist er aber nicht, weil bei organischen Objecten gerade die seitlichen Verschiebungen die häufigsten sind und diese letztern, weil sie in den verschiedensten Richtungen stattfinden, sich nicht beseitigen lassen.

- 150** Die günstigste Combination für das Netzhautbildchen bleibt also immerhin ein aberrationsfreies mikroskopisches Bild als Object und das gewohnte Sehen durch den centralen Theil der Pupillenöffnung. Und als bestes Objectiv stellt sich nach all' diesen Erörterungen dasjenige heraus, welches sowohl mit Rücksicht auf sphärische als auf chromatische Aberration möglichst corrigirt ist.

Ob die Herstellung achromatischer oder schwach überverbesserter Oculare die damit verbundene Mühe und grössern Kosten lohnen würde, wollen wir dahin gestellt sein lassen. Es versteht sich jedoch von selbst, dass das mikroskopische Bild durch eine günstige Combination von Collectiv- und Oculardoppellinsen in gewissen untergeordneten Puncten (Grösse des Sehfeldes u. dgl.) nur gewinnen kann.

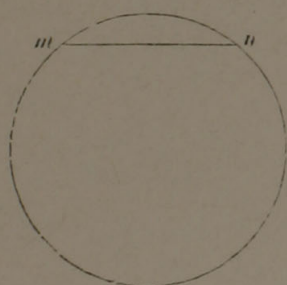
IV.

Prüfung der »Ebenung des Gesichtsfeldes«.

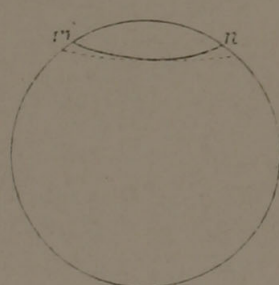
- 151** Da der herkömmliche Ausdruck »Krümmung des Gesichtsfeldes«, wie wir oben gezeigt haben, zwei von einander unabhängige Begriffe umfasst, nämlich 1) die Verzerrung des Bildes und 2) die Wölbung der Bildfläche, so sind bei der Prüfung des Mikroskops diese beiden Momente gesondert

in Betracht zu ziehen. Was zunächst die Verzerrung des Bildes betrifft, so lässt sich der Grad derselben am besten mit Hilfe eines quadratischen Maschennetzes, z. B. eines in viereckige Felder getheilten Glasmikrometers bestimmen, welches als Object unter das Mikroskop gebracht wird. Dasselbe erscheint nämlich, je nachdem die Vergrößerung von innen nach aussen zu- oder abnimmt, wie in Fig. 24 oder wie in Fig. 23 (p. 55), und nur wenn gar keine Verzerrung stattfindet, stimmen die Maschen des Bildes mit denen des Objectes überein. Aus der Krümmung der Linien in Fig. 23 und 24 ergibt sich übrigens, dass schon eine einzige gerade Linie, wenn dieselbe dem Rande des Gesichtsfeldes genähert wird, ein vollkommen ausreichendes Probeobject bildet.

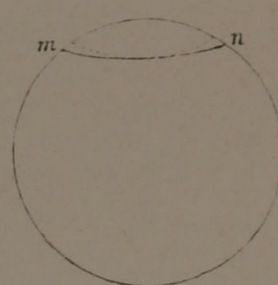
Will man das Verhalten der Bilder prüfen, welche das Objectiv für sich allein und unter Mitwirkung der Collectivlinse entwirft, so geschieht diess am einfachsten in folgender Weise. Man legt auf die Blende im Oculareinsatz (nach Wegnahme der Ocularlinse) ein Deckgläschen mit geradem Rande, und zwar so, dass der letztere in der kreisförmigen Blende als Sehne erscheint (mn in Fig. 98). Mit dieser Sehne sucht man das reelle Bild einer andern Geraden, die als Object dient, zur Deckung zu bringen, was genau in derselben Weise bewerkstelligt wird, wie z. B. bei der mikrometrischen Messung das Einstellen eines bestimmten Theilstriches auf den Rand eines Objectes. Findet eine vollkommene Deckung statt, d. h. fallen die beiden Geraden — gleichviel, ob sie im virtuellen Bilde gerade oder gekrümmt erscheinen — in ihrer ganzen Länge zusammen, so ist das reelle Bild »geradflächig«, in jedem andern Falle dagegen verzerrt.



Figur 98.



Figur 99.



Figur 100.

Eine Verzerrung wie in Figur 23, wobei die Randpartieen schwächer vergrößert erscheinen als die im Centrum liegenden, wird dadurch bemerkbar, dass, wenn die beiden Linien sich in der Mitte berühren, die Enden der im Oculareinsatz angebrachten Geraden mn mehr nach aussen zu liegen kommen (Fig. 99), während die umgekehrte Verzerrung durch die Abweichung dieser Enden nach innen zu angezeigt wird (Fig. 100). Aus der Krümmung der Geraden mn selbst ergibt sich diejenige des virtuellen Bildes, welches die Ocularlinse unter den gegebenen Verhältnissen von einer ebenen Fläche entwirft.

Die in der angegebenen Weise untersuchten Instrumente (Oberhäuser,

Hartnack, Bénéche, Merz, Kellner) zeigten übrigens wider Erwarten keine irgend nennenswerthe Verzerrung des Objectivbildes, man mochte dasselbe mit oder ohne Collectiv untersuchen. Nur war in letzterem Falle das schliessliche virtuelle Bild viel stärker verzerrt, weil die Ocularlinse in ihrem ganzen Durchmesser, also mit weit grösserer Oeffnung, optisch wirksam und überdiess die Richtung der einfallenden Strahlen eine ungünstigere war. Dasselbe Resultat ergab auch eine andere Prüfungsweise, wobei die mit oder ohne Collectiv zu Stande gebrachten Objectivbilder am obern Ende der Mikroskopröhre (nach Wegnahme des Oculars) auf mattem Glas aufgefangen wurden.

Um nun noch die Wölbung der Bildfläche zu prüfen, bedient man sich einer genau ebenen Fläche mit feiner Zeichnung, wie man sie z. B. erhält, wenn man eine Glasplatte mit der Fingerspitze reibt, als Object, und untersucht alsdann, ob alle Punkte des Gesichtsfeldes gleichzeitig deutlich gesehen werden können. Ist diess nicht der Fall und findet man, wie gewöhnlich, dass die peripherischen Punkte eine tiefere Einstellung erfordern als die centralen, so ist die Bildfläche, wie leicht einzusehen, nach oben convex. Die Wölbung ist natürlich um so stärker, je grösser die Niveaudifferenz.

Das Auflegen eines Deckgläschens mit ähnlicher Zeichnung auf die Blendung im Oculareinsatz giebt auch hier ein Mittel an die Hand, die Wölbung des Objectivbildes nach denselben Principien zu ermitteln, wie im Vorhergehenden die Verzerrung.

V.

Prüfung der Centrirung.

- 152 Wir haben oben gezeigt, dass die ungenaue Centrirung eines Linsensystems sich im Allgemeinen auf zweierlei Weise kundgebe: 1) durch eine Verundeutlichung der Bilder, welche zunächst nur den Rand des Gesichtsfeldes trifft und erst bei grössern Abweichungen sich bis gegen die Mitte erstreckt, in allen Fällen jedoch von aussen nach innen abnimmt; 2) durch die Ortsveränderungen, welche ein beliebiger Bildpunkt erfährt, wenn das Objectiv oder einzelne Linsen desselben um die Axe des Mikroskops gedreht werden. Der erste Punkt wird am einfachsten dadurch geprüft, dass man das optische Vermögen des Mikroskops für verschiedene Stellen des Gesichtsfeldes bestimmt und die erhaltenen Ergebnisse unter sich vergleicht. Man hat dabei namentlich darauf zu achten, ob vielleicht der linke Rand entschieden schwächere Bilder liefere als der rechte, ob überhaupt eine störende Ungleichheit in der Vertheilung der optischen Kraft und in

deren Abnahme vom Centrum gegen die Peripherie stattfinde. Wo solche Differenzen nicht vorkommen, wo höchstens ein geringer, durch die Aberrationen des Oculars bedingter und daher gleichmässiger Ausfall gegen den Rand zu sich nachweisen lässt, da darf man versichert sein, dass die Fehler der Centrirung möglichst vermieden, d. h. auf Zonen reducirt sind, die ausserhalb des Gesichtsfeldes liegen oder doch nur wenig über den Rahmen desselben hereinragen.

Was den zweiten Punct betrifft, so findet man in mikrophographischen **153** Werken gewöhnlich angegeben, die fraglichen Ortsveränderungen treten beim Drehen der Objectivlinsen durch Zurückschrauben der Fassungen deutlich hervor; man habe also nur nöthig, das Mikroskop auf irgend ein kleines Object einzustellen, etwa so, dass das letztere im Bilde den Rand des Gesichtsfeldes oder einen bestimmten Theilstrich des Ocularmikrometers berührt: die ungenaue Centrirung verrathe sich alsdann beim Zurückschrauben der Linsen durch eine entsprechende Kreisbewegung des mikroskopischen Bildes.

Wir haben dieses Prüfungsverfahren in der ersten Auflage dieses Werkes ebenfalls erwähnt und bezüglich der Factoren, von denen die Grösse der Verschiebung abhängig ist, einiges Nähere beigefügt. Es ergab sich hiebei, »dass die während der Umdrehung der Linsen durch Losschrauben stattfindenden Ortsveränderungen des Bildes eben so sehr von der genauen Construction der Fassungen und Schraubengewinde, als von den Abweichungen der optischen Axen vor dem Losschrauben abhängig sind« — ein Satz, dessen theoretische Richtigkeit nicht zu bezweifeln ist. Seitdem sind wir jedoch zur Ueberzeugung gekommen, dass das bezeichnete Verfahren thatsächlich nur auf eine Prüfung der Fassungen hinausläuft. Denn die eigentlichen Fehler der Centrirung, welche in den bessern Werkstätten beim Einsetzen der Linsen noch bestehen bleiben, sind im Vergleich mit der (übrigens durchaus unschädlichen) Excentricität der Schraubengewinde so klein, dass sie an den fraglichen Ortsveränderungen nur einen verschwindend geringen Antheil haben. Sollen daher die Linsen unabhängig von den Fassungen auf die Genauigkeit der Centrirung geprüft werden, so ist das Losschrauben derselben von vorne herein als zweckwidrig zu verwerfen. Das einzige Verfahren, welches dem beabsichtigten Zweck vollständig entspricht, ist das in der practischen Optik angewandte. Dasselbe besteht in Folgendem.

Die Fassung für die hinterste Doppellinse, welche letztere wir als centriert voraussetzen wollen, wird mit einer Drehbank in Verbindung gebracht, und zwar so, dass ihre eigene Axe annähernd mit der Drehungsaxe zusammenfällt. Die genaue Prüfung dieser Coincidenz kann, sofern sie nöthig erscheinen sollte, mittelst eines sogenannten Fühlhebels geschehen, dessen kurzer Hebelarm während der Umdrehung auf der Aussenfläche der Fassung ruht, indess der längere nach rückwärts frei vorsteht und bei unge-

nauer Centrirung die kleinen Hebungen und Senkungen des kurzen Armes in vergrössertem Maassstab zur Anschauung bringt. Ist die Fassung gleich Anfangs oder nach wiederholtem Verschieben befriedigend centriert, so wird die Linse an der vorgezeichneten Stelle provisorisch eingesetzt; sie bleibt aber noch verschiebbar, bis die Fehler ihrer eigenen Centrirung möglichst vollständig beseitigt sind. Diese Fehler verrathen sich hier durch das Hin- und Herrücken des Spiegelbildchens, welches die Linse beispielsweise vom Fensterkreuz oder von einer Lichtflamme u. dgl. entwirft. Der practische Optiker betrachtet dieses Bildchen mittelst der Lupe, schiebt dann die Linse durch vorsichtiges Drücken etwas zurecht und setzt diese Operation fort, bis endlich das Bildchen während der Umdrehung vollkommen stille steht. Alsdann wird der vorstehende Metallrand nach innen auf die Linse umgelegt und damit die letztere endgültig fixirt. In gleicher Weise wird sodann auch die zweite und dritte Doppellinse auf die Probe gestellt, nachdem vorher die zugehörigen Fassungen angeschraubt worden.

Bei der Prüfung fertiger Objectivsysteme, deren Linsen unbeweglich sind, muss die Verschiebung behufs richtiger Befestigung auf der Drehbank selbstverständlich mittelst der Fassung vorgenommen werden. Man kann übrigens auch hier mit der hintersten Linse beginnen. Hat man dieselbe nach einigem Probiren so befestigt, dass das Bildchen, welches sie entwirft, während der Umdrehung unbeweglich stille steht, so soll nach dem Anschrauben der zweiten und dritten Linse auch bei diesen eine zitternde Bewegung nicht wahrnehmbar sein. Erfüllt ein Objectiv diese Bedingung, so ist damit bewiesen, dass die Centrirung eine möglichst vollkommene ist.

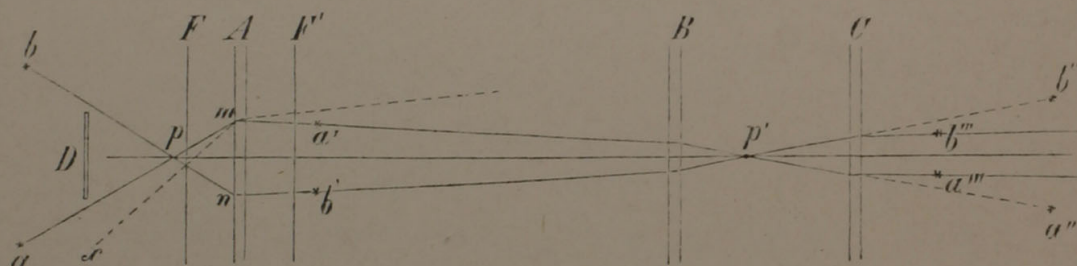
VI.

Bestimmung des Oeffnungswinkels.

- 154** Da das Unterscheidungsvermögen der Mikroskope mit der Grösse des Oeffnungswinkels, wie oben gezeigt wurde, steigt und fällt, so gehört dieser letztere zu den Factoren, welche bei der Prüfung der Instrumente mit zu berücksichtigen sind. Die Bestimmung desselben kann in sehr verschiedener Weise geschehen; doch laufen im Grunde alle Methoden, welche die Mikrographen in Vorschlag gebracht haben, auf das Nämliche hinaus. Sie können auch unmöglich eine andere Basis haben, als die leicht zu übersehenden Erscheinungen, die mit dem bekannten Strahlengang im Mikroskop in Beziehung stehen. Daher genügt denn auch eine einzige schematische Darstellung, die verschiedensten Prüfungsmethoden zu begründen und zu veranschaulichen.

Es seien *A*, *B* und *C* (Fig. 101) die drei Hauptebenenpaare des Ob-

jectivs, des Collectivs und des Oculars, F und F' die zu A gehörigen Brennebenen und p das Centrum des Gesichtsfeldes. Ist alsdann mpn der Öffnungswinkel des Objectivs, so ist natürlich ein Beleuchtungskegel von gleicher Öffnung nöthig, um denselben auszufüllen; aber es ist eben so klar, dass auch ein beliebiger kleiner Theil desselben für sich allein das Flächenelement p nach Maassgabe seiner Intensität erhellt. Wenn also eine Lichtquelle von geringer Ausdehnung, sei es nun eine vom Spiegel beleuchtete Blende, oder der Beleuchtungsspiegel selbst, oder eine in einiger



Figur 401.

Entfernung aufgestellte Lampenflamme etc., in der Richtung von a nach b oder umgekehrt von b nach a bewegt wird, so erscheint das Object p so lange erhellt, als die gedachte Lichtquelle sich ganz oder doch zum Theil innerhalb des vom Winkel $apb = mpn$ begrenzten Raumes befindet. Sowie sie diesen Raum verlässt, gelangen die nach p zielenden Lichtstrahlen entweder nicht mehr zum Objectiv, oder sie werden durch letzteres so gebrochen, dass sie das Ocular nicht erreichen; das Gesichtsfeld muss sich folglich verdunkeln. (In der Figur ist dieser Fall durch die punctirte Linie xm angedeutet.) Dasselbe Resultat müsste auch eintreten, wenn eine in den vollen Beleuchtungskegel eingetauchte kreisförmige Blende D dem Object p so lange genähert würde, bis ihre Ränder die Oberfläche des Kegels berühren.

Zwischen dem Collectiv und dem Ocular kommt das reelle Bild p' zu Stande. Von hier aus divergiren die Strahlen wieder und werden von der Ocularlinse so gebrochen, dass sie von einem Punkte der optischen Axe zu kommen scheinen, welcher um die Weite des deutlichen Sehens vom Auge absteht. Ist das letztere auf unendliche Entfernung eingestellt, so verlaufen sie unter sich und mit der Axe parallel. Wird daher umgekehrt ein parallelstrahliges Bündel in der Richtung der Axe auf das Ocular geleitet, so kreuzen sich die Strahlen zunächst in p' und dann in p und divergiren von hier aus nach allen Richtungen zwischen pa und pb . Ein links von p senkrecht zur Axe aufgestellter Schirm wird alsdann in einer Breite beleuchtet, welche bei gegebenem Abstand vom Öffnungswinkel des Objectivs abhängt. Giebt man demselben die Form eines um p beschriebenen Kreisbogens und theilt ihn in Grade ein, so kann der Öffnungswinkel direct abgelesen werden.

Wird die in einiger Entfernung angebrachte Lichtquelle a als Object betrachtet, so kommt das Objectivbild derselben etwas hinter F' in a' zu Stande. Von diesem Bilde würde das Collectiv ein zweites in a'' entwerfen; allein die Ocularlinse fängt die Strahlen schon vor ihrer Vereinigung auf, so dass das wirkliche Bild nun in a''' entsteht. Bewegt sich jetzt die Lichtquelle von a nach b , so rückt auch das Bildchen von a''' nach b''' ; es verschwindet aber sogleich, sowie die Grenzlinie bp oder die gegenüberliegende ap überschritten wird. Die Verkleinerung des Bildchens lässt sich für bekannte Abstände und Brennweiten leicht berechnen. Ist z. B. der Abstand der Lichtquelle vom Objectiv $= 4^m$, die Brennweite des letztern, des Collectivs und des Oculars beziehungsweise 5, 50 und 25^{mm} und die Länge des Oculareinsatzes 50^{mm} , so erhält man bei einer gewöhnlichen Tubuslänge von c. 200^{mm} eine Verkleinerung von c. 800 Mal.

155 Auf Grund dieser theoretischen Ableitungen liesse sich nun eine ziemliche Anzahl von Prüfungsmethoden und Modificationen derselben anführen, welche in mehr oder weniger einfacher Weise zum Ziele führen. Es mag indess genügen, wenn wir hier nur die einfachsten und zweckdienlichsten noch besonders besprechen.

1) Die Methode von Lister. Das Mikroskop wird horizontal gestellt und eine in einiger Entfernung vom Objectiv (im dunkeln oder halbdunkeln Zimmer) aufgestellte Kerzenflamme als Lichtquelle benutzt. Dieselbe wird hierauf so weit nach rechts und nach links von der Verlängerung der optischen Axe entfernt, bis nur noch das halbe Gesichtsfeld erleuchtet erscheint. Der Winkel, unter welchem alsdann die extremen Standpunkte der Lichtquelle (a und b Fig. 101) vom Brennpunct des Objectivs oder, was bei grössern Abständen auf dasselbe herauskommt, vom vordern Ende der Mikroskopröhre aus gesehen werden, ist der gesuchte Oeffnungswinkel. Man hat also nur nöthig, das Mikroskop auf eine passende Unterlage zu bringen, das Lineal anzusetzen, nach den beiden extremen Standpuncten Linien zu ziehen und den erhaltenen Winkel mit dem Transporteur zu messen.

Noch einfacher ist das Verfahren, wenn man die Lichtquelle unbeweglich stehen lässt und dafür die Mikroskopröhre um eine senkrechte, durch den Brennpunct gehende Axe dreht, so dass das Ocularende einen horizontalen Bogen beschreibt. Es liegt auf der Hand, dass das Resultat genau dasselbe sein muss, wie im vorhergehenden Falle. Man braucht also nur die Drehung nach beiden Seiten hin so lange fortzusetzen, bis das Gesichtsfeld sich zur Hälfte verdunkelt, und in diesen extremen Lagen Linien parallel mit der Axe des Mikroskops zu ziehen, die man nachher bis zu ihrem Kreuzungspunct verlängert. Der Winkel, den dieselben bilden, ist dem Oeffnungswinkel gleich und kann mit dem Transporteur direct gemessen werden. Es versteht sich übrigens von selbst, dass das Resultat annähernd

dasselbe bleibt, wenn die Drehung nicht gerade um den Brennpunct, sondern einfach um das vordere Ende des Mikroskops geschieht.

Wer zu solchen Messungen eine besondere mechanische Vorrichtung wünscht, der mag sich eine solche nach der Angabe Goring's construiren lassen. Der Goring'sche Apparat besteht im Wesentlichen aus einer messingenen Platte, auf welcher das Mikroskop mittelst zweier Stützen befestigt und welche selbst wieder auf einer andern mit Gradeintheilung versehenen Platte drehbar ist, und zwar um eine Spindel, in deren Verlängerung sich eine feine Nadel befindet, auf welche das Mikroskop eingestellt wird. Eine genauere Beschreibung mit Abbildung giebt Mohl in seiner Mikrophographie S. 193.

2) Die Methode von Wenham. Das Mikroskop wird, wie im vorhergehenden Falle, horizontal gestellt und nach einer entfernten Lichtquelle, z. B. nach der Flamme einer Lampe, gerichtet. Statt aber in gewohnter Weise das Gesichtsfeld zu beobachten, sieht das mit einer Loupe bewaffnete Auge nach dem Flammenbildchen über dem Ocular (a''' und b''' Fig. 101). Die Mikroskopröhre wird dann wieder in einer horizontalen Ebene nach rechts und nach links gedreht, bis ein bestimmter Punct des Bildchens, z. B. die Mitte desselben, eben verschwindet. Der Bogen, welchen das Mikroskop während dieser Bewegung durchläuft, darf auch hier als dem Öffnungswinkel des Objectivs entsprechend betrachtet werden *).

Dieses Verfahren hat unstreitig den grossen Vorzug, dass sich dadurch nicht bloss die Öffnung des Objectivs, soweit sie überhaupt Licht durchlässt, bestimmen lässt, sondern auch der wirklich nutzbare Theil derselben, d. h. der Theil, welcher scharfe, aberrationsfreie Bilder liefert. Man beobachtet nämlich oft, dass die Flammenbildchen vor ihrem Verschwinden undeutlich, nebelartig und verzerrt erscheinen, während sie sonst sehr scharf begrenzt und in ihrer wahren Gestalt sich darstellen. Offenbar können diese undeutlichen und verbogenen Bilder nur von Randstrahlen herrühren, für welche das Objectiv nicht mehr gehörig corrigirt ist, und welche daher besser abgeschnitten würden. Der wirklich nutzbare Öff-

*) Die Bemerkung Harting's (Mikr. 1. Aufl. p. 263), dass diese Methode nicht ganz gleiche Resultate liefern könne, wie jene von Lister, weil durch das Hinzufügen einer Loupe der Hauptbrennpunct verschoben werde, ist jedenfalls unrichtig motivirt. Es ist im Gegentheil völlig gleichgültig, ob man die Flammenbildchen a''' und b''' mit blossem Auge, mit einer Loupe oder mit einem zweiten Mikroskop betrachte. Ihr Verschwinden ist von dem hinzukommenden Linsensystem in keiner Weise abhängig. Eine kleine Differenz besteht aber desswegen doch, nur ist die Ursache eine ganz andere. Bei der Lister'schen Methode werden nämlich die Strahlenbündel in den Grenzlagen des Mikroskops so gebrochen, dass sie in p' die Axe schneiden, weil nur unter dieser Bedingung die Mitte des Gesichtsfeldes eben noch erleuchtet erscheint. Bei der Wenham'schen Methode dagegen genügt es, dass die Strahlenbündel nach der Brechung im Objectiv das Collectiv erreichen, eine Bedingung, die selbst dann noch erfüllt wird, wenn sie auf ihrem Wege dahin sich etwas von der Axe entfernen. Der Öffnungswinkel erhält dadurch denselben Werth, ja sogar noch einen etwas grössern, wie wenn der einfallende Lichtkegel vom Brennpunct des Objectivs ausginge.

nungswinkel ist demnach durch die Grenzen bestimmt, innerhalb welcher die Flamme scharf und rein erscheint.

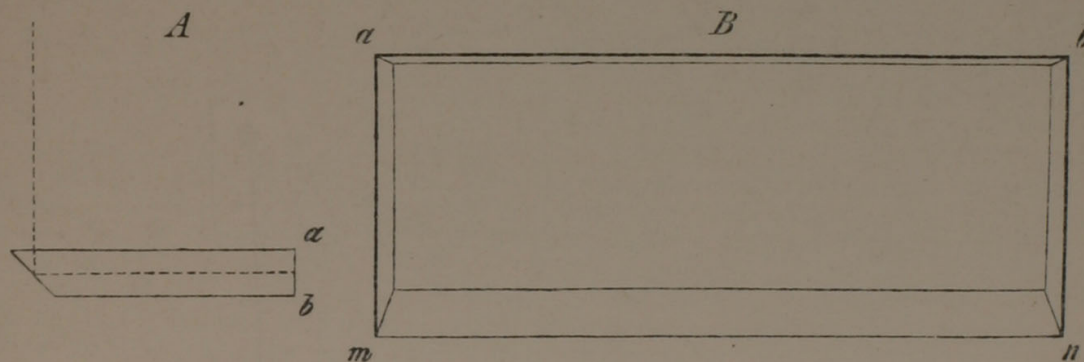
3) Die Robinson'sche Methode. Ein Bündel paralleler Strahlen wird in der Richtung der Axe auf das Ocular geleitet und nach erfolgter Kreuzung der Strahlen im Brennpuncte des Mikroskops mit einem Schirme aufgefangen. Aus dem Durchmesser d des Lichtkreises, welcher hier zu Stande kommt, und der Entfernung l des Schirmes vom Brennpunct des Mikroskops (resp. dem vordern Ende desselben, wenn der Abstand verhältnissmässig gross ist) erhält man alsdann den Oeffnungswinkel ω nach der Formel:

$$\tan \frac{\omega}{2} = \frac{d}{2l}.$$

Die Bestimmung desselben kann übrigens mit hinreichender Genauigkeit auch durch Construction geschehen.

4) Die Methode von Abbe. Unter dem Objecttisch wird in bekannter Entfernung von der Einstellungsebene eine horizontale Scala angebracht, deren Nullpunct approximativ in die Mitte des Gesichtsfeldes fällt. Rechts und links befinden sich Schieber, welche so weit vom Nullpunct entfernt werden, bis sie im Oeffnungsbilde in der obern Focalebene des Objectivs beiderseits den Rand des hellen Kreises tangiren. Diese Stellung der Schieber wird jetzt abgelesen und aus den erhaltenen Abständen das arithmetische Mittel genommen, wodurch die möglicher Weise etwas excentrische Lage des Nullpunctes sich corrigirt. Man erhält auf diese Weise den linearen Abstand der äussersten Punkte, welche in der Focalebene des Objectivs eben noch abgebildet sind, und da dieser Abstand nach Früherem dem Sinus des Oeffnungswinkels proportional ist, so kann der letztere mit Hülfe einer Tabelle, in welcher ein für allemal die den verschiedenen Abständen entsprechenden Winkelwerthe zusammengestellt sind, sofort bestimmt werden.

Um auch für grössere Abstände eine günstige Beleuchtung zu er-



Figur 102.

möglichen, ist die Abbe'sche Scala auf der Seitenfläche ab (Fig. 102 A und B) und den beiden anliegenden Seitenflächen am und bn (Fig. 102 B) einer

rechteckigen Glasplatte angebracht und wird von oben in Folge der Reflexion an der vierten, unter 45° geneigten Fläche mn (Fig. 102 B) im Spiegelbild gesehen. Durch das Umbiegen der Scala auf die beiden zu ab rechtwinkeligen Seitenflächen wird sowohl die unbequeme Grösse der Platte, als auch eine allzu schwache Beleuchtung vermieden.

Welche von den genannten Methoden man übrigens auch anwenden mag, die Bestimmung ist doch immer nur annähernd genau, und zwar erreicht der mögliche Fehler bei stärkern Vergrösserungen wenigstens 2 Grad. Es rührt diess daher, dass Licht und Schatten im Gesichtsfelde oder auf dem erhellten Schirm wegen der mancherlei Verluste, welche die Randstrahlen erleiden, nicht scharf begrenzt erscheinen, vielmehr allmählig in einander übergehen, so dass also die Grenzpunkte, auf welche es ankommt, immer etwas willkürlich gewählt werden müssen. Dieser Uebelstand hat indessen so gut wie keine practische Bedeutung, da es vollkommen gleichgültig ist, ob der Oeffnungswinkel eines Mikroskops beispielsweise 70 oder nur 69 Grad betrage. Es ist geradezu lächerlich, wie Harting mit Recht bemerkt, wenn man bei stärkern Objectiven, wie es Manche gethan haben, die Grösse des Oeffnungswinkels bis auf Bruchtheile eines Grades angiebt. Und eben so lächerlich als unpractisch ist es, Objective mit Oeffnungswinkeln bis zu 160° und darüber herzustellen, wenn hievon wenigstens 40 — 50° auf einen total unbrauchbaren peripherischen Theil des Systems fallen, wie diess bei manchen englischen Systemen wirklich vorkommen soll. 156

Schliesslich wollen wir noch bemerken, dass bei solchen Objectiven, welche zum Zwecke der Immersion in Wasser, oder um der verschiedenen Dicke der Deckgläschen Rechnung zu tragen, mit Correctionsapparaten versehen sind, der Oeffnungswinkel sich nothwendiger Weise verändert, wenn der Abstand der untersten Linie von der nächstfolgenden grösser oder kleiner gemacht wird, weil in Folge dessen auch die Brennweite des ganzen Systems eine Veränderung erleidet. Dagegen ist der Einfluss, welchen die Ocularvergrösserung auf den Oeffnungswinkel ausübt, keineswegs so erheblich, wie man nach der Darstellung Harting's glauben möchte. Die Vergrösserung an und für sich kommt eigentlich gar nicht in Betracht, sondern einzig und allein der Umstand, dass bei kürzern Ocularen der Abstand des Collectivs vom Objectiv etwas grösser ist, was in der Regel auch eine geringe Vergrösserung der hintern Vereinigungsweite des letztern und somit eine Verkleinerung des Objectabstandes nöthig macht. Man begreift, dass in Folge dessen der Oeffnungswinkel etwas zunimmt; allein es ist eben so klar, dass die Brechungen, welche nach dem Zustandekommen des reellen Bildes noch stattfinden, eine weitere Zu- oder Abnahme nicht bedingen, da der Strahlengang im Objectiv hievon gang unabhängig ist. Bei gegebener Lage des Objectivbildes ist es demnach völlig gleichgültig, ob die Ocularlinse 5 oder 50 Mal vergrössere.

VII.

Bestimmung der Vergrößerung und der Brennweite.

- 157 Man ist gewohnt, die Stärke eines Mikroskops nach der Gesamtvergrößerung; diejenige der Objective dagegen nach ihren Brennweiten zu beurtheilen. So wenig nun auch die erstere einen sichern Anhaltspunct bietet, da sie durch Factoren von sehr ungleichem Werthe bestimmt wird, so ist doch die Kenntniss derselben schon aus practischen Rücksichten unerlässlich. Andererseits steht die Brennweite annähernd in umgekehrtem Verhältniss zur Objectivvergrößerung; sie ist gewissermaassen als ein von der Tubuslänge unabhängiger Ausdruck derselben zu betrachten und bildet daher bei der Vergleichung verschiedener Objective den hiezu erforderlichen Maassstab. Die Bestimmung der Brennweite sowohl, als der Gesamtvergrößerung, gehört daher mit zur vollständigen Prüfung eines Mikroskops.

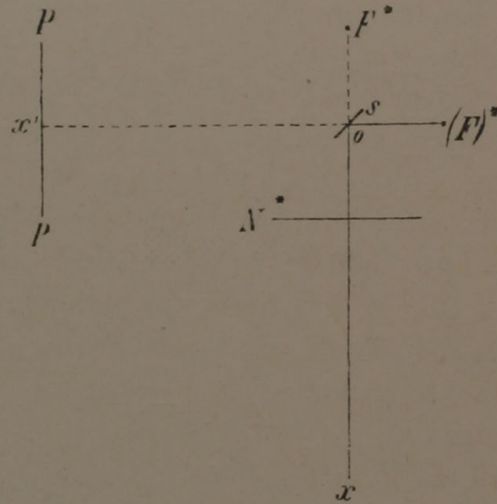
1. Die Vergrößerung.

- 158 Es wurde früher gezeigt, dass die Vergrößerungsziffer m zum Abstände des virtuellen Bildes vom zweiten Brennpuncte, oder, was nahezu auf das Nämliche herauskommt, vom Augenpunct des Mikroskops in proportionalem Verhältniss steht, so dass also einem doppelten Abstand eine doppelte Vergrößerung entspricht. Sollen daher die Vergrößerungsziffern unter sich vergleichbar sein, so müssen sie sich folgerichtig auf gleiche Abstände beziehen. Wie gross übrigens diese letztern gewählt werden, ist für die Vergleichung vollkommen gleichgültig; es hätte jedoch keinen Sinn, die Wahl so zu treffen, dass damit die Grenzen der wirklich vorkommenden Fälle überschritten würden. In neuerer Zeit ist man so ziemlich allgemein übereingekommen, die Vergrößerungen für eine Entfernung von 25 Centimeter zu berechnen.

Die sogenannte »Krümmung des Gesichtsfeldes« bringt es mit sich, dass die Vergrößerung der Randpartieen gewöhnlich etwas stärker ist, als die der centralen. Aus diesem Grunde ist eine genaue Bestimmung der Vergrößerungsziffer nur für einen verhältnissmässig kleinen Theil des Gesichtsfeldes möglich; sie wird auch aus bekannten practischen Rücksichten in der Regel nur für die Mitte, mit Weglassung einer ziemlich breiten peripherischen Zone, ausgeführt.

- 159 Was nun die Methoden betrifft, deren man sich zur Bestimmung der Vergrößerungsziffer bedient, so laufen sie alle darauf hinaus, das Bild eines Objects von bekannter Grösse auf die conventionelle Entfernung von 25 Centimeter zu projeciren und den direct gemessenen Durchmesser desselben mit dem des bilderzeugenden Objects zu vergleichen. Die Projection

geschieht mit Hilfe eines Sömmerring'schen Spiegelchens oder eines reflectirenden Prisma's, wobei die spiegelnde Fläche, wenn das Verfahren ganz genau sein soll, eine solche Lage haben muss, dass der zweite Brennpunct des Mikroskops mit dem Kreuzungspunct der Strahlen im beobachtenden Auge zusammenfällt. Ist N^* (Fig. 103) die letzte brechende Fläche (die ebene Fläche der Ocularlinse), F^* der zweite Brennpunct und s eine unter 45° geneigte reflectirende Fläche, so wird dadurch der Strahlenverlauf so verändert, als ob die optische Axe (ox) des Systems horizontal und der Brennpunct nach $(F)^*$ verlegt wäre. In diesem letztern Punct muss sich also das Auge befinden, wenn die Resultate der Messungen genau und unter sich vergleichbar sein sollen. Seine Lage entspricht sehr annähernd der Stelle, an welcher die austretenden Strahlenbündel auf einem senkrecht zur Axe gestellten Schirme (von mattem oder angehauchtem Glas) den kleinsten Lichtkreis bilden. Es versteht sich überdiess von selbst, dass die Ebene, auf welche das Bild projicirt wird (PP Fig. 103), mit der durch die Reflexion bestimmten Richtung der optischen Axe (ox') einen rechten Winkel bilden muss.



Figur 103.

Bei der Wahl des Objects ist darauf zu achten, dass die Ränder desselben oder überhaupt die Punkte, deren Entfernung gemessen werden soll, auch im Bilde deutlich gesehen werden. Wo eine mikrometrische Theilung auf Glas dieser Bedingung Folge leistet, mag dieselbe mit Vortheil angewendet werden; wo dagegen die Striche verwischt erscheinen, was bei stärkern Vergrößerungen gewöhnlich der Fall ist, leisten beliebige andere Objecte mit scharfen Rändern, wie z. B. Luftblasen, Quecksilberkügelchen, Krystalle etc., deren Durchmesser mikrometrisch bestimmt wird, bessere Dienste. Die Genauigkeit der Bestimmung hängt übrigens in beiden Fällen von der Genauigkeit der mikrometrischen Theilung ab.

Die Messung des virtuellen Bildes auf der Projectionsebene geschieht am besten mittelst eines Zirkels, dessen Oeffnung nachher auf einer hinreichend feinen Scala ermittelt wird. Man kann auch die Begrenzungslinien mit der feinen Spitze eines Bleistifts wiederholt auf die Projectionsebene zeichnen und den mittlern Werth der aufgezeichneten Maasse als Durchmesser des virtuellen Bildes in Rechnung bringen. Beträgt dieser Durchmesser beispielsweise $26,5 \text{ mm}$, derjenige des Objectes $100 \text{ Mik.} = 0,1 \text{ mm}$, so ist die Vergrößerungszahl $m = 265$.

Wo es auf eine genaue Bestimmung der Vergrößerungsziffer ankommt, 160

muss natürlich allen Bedingungen, welche die Theorie vorschreibt, möglichst Genüge geleistet werden. Es ist in diesem Falle sogar wünschenswerth, die Grösse des Objects auf eine zuverlässigere Weise bestimmen zu können, als diess mit Hülfe der nicht immer genauen mikrometrischen Theilungen möglich ist. Zur Erreichung dieses Zweckes macht Harting den Vorschlag, einen dünnen Metalldraht einige hundert Male um einen dickern Draht zu winden, dergestalt, dass jede Windung genau an der vorhergehenden anliegt, wovon man sich mittelst des Mikroskops überzeugen muss. Man misst dann die Strecke, welche die sämtlichen Windungen auf dem dickern Draht einnehmen und zählt endlich die Anzahl der Windungen, am besten durch Abwickeln auf der Drehbank. Die Gesammtlänge der Windungen, dividirt durch die Anzahl derselben, giebt alsdann die Dicke des Drahtes mit einer Genauigkeit, die bei mikrometrischen Messungen nicht erreichbar ist. Ein solcher Draht kann entweder unmittelbar als Object oder auch zur Bestimmung der wirklichen Länge der mikrometrischen Theilungen benutzt werden.

In den meisten practischen Fällen ist indess eine so grosse Vorsicht ganz und gar überflüssig. Es ist vollkommen gleichgültig, ob die Vergrösserungsziffer um einige Einheiten höher oder niedriger ausfalle, ob sie z. B. zu 360 oder zu 355 angenommen werde, da die Objecte, um deren Messung und Darstellung es sich handelt, hinsichtlich ihrer Grösse durchweg um mehr als so viel differiren. Man braucht sich also um den zweiten Brennpunct des Mikroskops, die Lage des Auges, die Genauigkeit der Mikrometertheilung etc. keineswegs ängstlich zu bekümmern; es genügt, die Sehweite von der Mitte des Oculars an zu messen und die gewöhnliche Sorgfalt auf die Bestimmung der Grössenverhältnisse zu verwenden, um ein hinlänglich genaues Resultat zu erzielen.

- 161 Die Vergrösserungen, welche man durch Combination verschiedener Objective mit dem nämlichen Ocular erhält, verhalten sich natürlich wie die linearen Dimensionen der reellen Objectivbilder. Deckt z. B. das Bild eines Objectivs 40 Theilstriche eines im Ocular befindlichen Mikrometers und das eines andern Objectivs 45 Theilstriche, so verhalten sich die Vergrösserungsziffern wie 40 zu 45. Wird umgekehrt eine Mikrometertheilung als Object benutzt, so ist die Zahl der Theilstriche, welche innerhalb eines gegebenen Rahmens (z. B. des durch eine enge Blendung verkleinerten Gesichtsfeldes) gesehen werden, um so kleiner, je stärker die Vergrösserung, und zwar ist das Verhältniss abermals ein proportionales. Diese Beziehungen geben uns ein Mittel an die Hand, die Vergrösserungswerthe für verschiedene Objectivsysteme in Verbindung mit dem nämlichen Ocular durch Rechnung zu bestimmen, wenn dieser Werth für ein einziges derselben bekannt ist. Ist z. B. die Zahl der Theilstriche eines Objectivmikrometers, welche im Durchmesser des verkleinerten Gesichtsfeldes bei vier verschiedenen Objectiven gesehen werden, beziehungsweise 60, 45, 20, 12,

und die mit dem ersten erzielte Gesamtvergrößerung $m = 50$, so beträgt dieselbe für die übrigen drei Objective $\frac{60}{43}$, $\frac{60}{20}$ und $\frac{60}{12}$ mal 50, also $66\frac{2}{3}$, 150 und 250.

Es ist in manchen Fällen vortheilhaft, nicht bloss die Vergrößerungs- 162 zahl, sondern auch den wahren Durchmesser des ganzen Gesichtsfeldes zu kennen. Die Bestimmung desselben geschieht einfach dadurch, dass man den scheinbaren Durchmesser in der Entfernung der Sehweite auf der Projectionsebene misst und den gefundenen Werth durch die Vergrößerung dividirt. Die Messung kann übrigens auch direct mit Hülfe einer Mikrometertheilung, welche die ganze Blendungsöffnung im Ocular ausfüllt oder doch seitlich verschiebbar ist, vollzogen werden.

Ebenso kann es zuweilen zweckdienlich sein, die Objectivvergrößerungen für sich allein zu ermitteln. Auch diess geschieht am einfachsten mittelst eines Ocularmikrometers, indem man dasselbe nach Wegnahme des Collectivs so weit hineinschiebt, bis das gegebene Objectivbild scharf gesehen wird. Da nämlich die Theilstriche des Mikrometers um eine bekannte Grösse, und zwar gewöhnlich um $0,1^{\text{mm}}$ von einander abstehen, so kann damit auch der Durchmesser des reellen Bildes gemessen werden. Das Verhältniss des letztern zum Durchmesser des Objects giebt aber offenbar die Objectivvergrößerung.

2. Die Brennweite.

Bei der Bestimmung der Brennweite kommt vor Allem die Frage in Be- 163 tracht, in welcher Weise die bekannten mathematischen Formeln, wie sie in der Einleitung mitgetheilt wurden, zu verwerthen seien, um zu einem möglichst genauen Resultat zu gelangen. Da die Hauptpunkte des Objectivsystems unbekannt sind, so kann natürlich von einer directen Messung der Brennweite oder der conjugirten Vereinigungsweiten keine Rede sein.

Die Formel $\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$, in welcher p und p^* die conjugirten Vereinigungsweiten und f die Brennweite bezeichnet, findet daher nicht unmittelbar Anwendung. Was als gegeben betrachtet werden kann, ist nur das Grössenverhältniss zwischen Bild und Object, sowie ferner die eine der beiden Vereinigungsweiten, insofern dieselbe so gross gewählt wird, dass eine nur annähernd genaue Messung vollkommen genügt. Aus diesen Daten lässt sich indess die Brennweite sehr leicht berechnen. Es seien D und d , wobei $D > d$, die Durchmesser des Bildes und des Objectes oder umgekehrt, und p^* die grössere der beiden Vereinigungsweiten, dann erhält man aus der Proportion $D : d = p^* : p$ und der oben citirten Gleichung $\frac{1}{p} + \frac{1}{p^*} = \frac{1}{f}$ die Beziehung $\frac{1}{f} = \frac{1}{p^*} \cdot \frac{D+d}{d}$ und hieraus die einfache

$$\text{Formel} \quad f = p^* \cdot \frac{d}{D+d}$$

oder, wenn d gegen D verschwindend klein ist,

$$f = p^* \cdot \frac{d}{D}.$$

Die Bestimmung von p^* , d und D kann nun in folgender Weise geschehen.

1) Ein passendes Object von bekannter Grösse, wie z. B. eine Mikrometertheilung oder eine Luftblase, deren Diameter durch Messung zu bestimmen ist, wird in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht und hierauf das zu Stande kommende Objectivbild auf einem Schirme von mattem Glas, welcher nach Wegnahme des Oculars auf die Mikroskopröhre gelegt wird, aufgefangen. Hat man die richtige Einstellung gefunden, bei welcher das Bild scharf abgegrenzt erscheint, so kann seine Grösse mittelst eines Zirkels mit hinreichender Genauigkeit gemessen werden. Noch genauer fällt die Messung aus, wenn man das Objectivbild durch ein mit einem Mikrometer versehenes Ocular, von dem das Collectiv losgeschraubt wurde*), beobachtet. Da nämlich die Theilstriche der Ocularmikrometer, wie bereits bemerkt, um eine bekannte Grösse, und zwar gewöhnlich um $0,1^{\text{mm}}$ von einander abstehen, so kann der Durchmesser des reellen Bildes auf diesem Wege sehr leicht bis zu einem kleinen Bruchtheil eines Millimeters genau bestimmt werden. Endlich misst man den Abstand p^* der Projectionsebene vom Objectiv (eigentlich vom zweiten Hauptpunct desselben) mit Hülfe eines Zirkels oder Maassstabs, wobei ein kleiner Fehler von $2\text{--}3^{\text{mm}}$ nicht in Betracht kommt.

Ist z. B. $d = 100 \text{ Mik.} = 0,1^{\text{mm}}$, $D = 7,8^{\text{mm}}$ und $p^* = 210$, so wird $\frac{d}{D} = \frac{1}{79}$ und folglich $f = \frac{210}{79} = 2,658$. Wird p^* zu 207 angenommen, so fällt dieser Werth auf 2,620 herunter, differirt also bloss um 0,038 oder ungefähr $\frac{1}{25}$ eines Millimeters.

2) Das zu prüfende Objectiv wird dergestalt auf den Objectträger gelegt, dass die ebene Vorderfläche nach oben gekehrt ist, und hierauf in einer Entfernung von 0,2—1 Meter und darüber ein geeignetes Object, z. B. eine über der Kerzenflamme geschwärzte Glasplatte, auf dem Arbeitstische oder am Fenster befestigt. Man dreht nun den Beleuchtungsspiegel, der zu diesem Zweck eben sein muss, so, dass das Spiegelbild des Objectes in die optische Axe des zu prüfenden Objectivs fällt und folglich über der Brennebene des letztern ein kleines dioptrisches Bildchen erzeugt, dessen Diameter durch directe Messung bei geeigneter Vergrösserung bestimmt wird. Die Grössen D und d sind jetzt bekannt; der Abstand p^* wird mit dem Maassstab gemessen, wobei die Entfernungen vom Object bis zum Spiegel und von da bis zum Objectiv zu addiren sind. Nöthigen-

*) Wir setzen auch hier ein gewöhnliches Campani'sches Ocular voraus. Bei einem Ramsden'schen Ocular braucht natürlich die untere Linse nicht losgeschraubt zu werden.

falls kann dem Mikroskop eine horizontale Stellung gegeben und der Tubus direct nach dem Object gerichtet werden.

Hat man die Brennweite eines Objectivs genau bestimmt, so kann die 164 eines andern auf einfacherem Wege durch Vergleichung ermittelt werden.

Aus der Formel für die Vergrößerung $m = 1 - \frac{p^*}{f}$ erhält man nämlich

$$f = -\frac{p^*}{m-1} \text{ oder, wenn } m \text{ als positiv betrachtet wird, } f = \frac{p^*}{m+1}, \text{ d. h.}$$

die Brennweiten verhalten sich umgekehrt wie die um 1 vermehrten Objectivvergrößerungen. Da die letztern sich ihrerseits wie die Lineardimensionen verhalten, welche die Bilder eines gegebenen Objectes auf dem Ocularmikrometer ausfüllen, so braucht man also bloss die Theilstriche von einem Rand bis zum andern abzuzählen, um das Verhältniss der bekannten Brennweite zu einer oder mehreren unbekannten zu bestimmen und hieraus diese letztern zu berechnen.

In gleicher Weise, wie die Brennweite der Objectivsysteme, kann natürlich auch diejenige einzelner Linsen bestimmt werden. Wo indess die Krümmungen sehr schwach sind und die Brennweiten beispielsweise mehrere Centimeter betragen, da ist es für die meisten practischen Zwecke genügend, den Abstand des Sonnenbildchens von der Linse zu messen oder überhaupt eines der einfachen Verfahren anzuwenden, die man in den physikalischen Lehrbüchern angegeben findet.

VIII.

Bestimmung der Cardinalpuncte.

Man kann sich endlich noch die Aufgabe stellen, ein gegebenes Objectiv 165 auch mit Rücksicht auf die Lage der Cardinalpuncte der einzelnen Doppellinsen sowohl, als des ganzen Systems kennen zu lernen, d. h. die Abstände der Haupt- und Brennebenen unter sich und von den brechenden Flächen auf empirischem Wege in analoger Weise zu ermitteln, wie wir diess oben unter bestimmten Voraussetzungen durch die Rechnung gethan haben. Um diese Aufgabe mit annähernder Genauigkeit zu lösen, kann man folgendes Verfahren einschlagen.

1) Man bestimmt die Brennweiten der einzelnen Doppellinsen, dann der beiden hintern zum System verbundenen Linsen, endlich diejenige des ganzen Objectivs. Zur Erzielung grösserer Genauigkeit ist bei stärkern Linsen eine wiederholte Messung nach dieser oder jener Methode rathsam.

2) Man bestimmt die Abstände des ersten und zweiten Brennpunctes von der Vorder- und Hinterfläche der Doppellinse oder des Systems. Zu

diesem Behufe legt man dieselben dergestalt auf den Objectträger, dass die betreffende Fläche nach oben gekehrt ist, und dreht nun den Planspiegel des Mikroskops so, dass im Brennpunct der Linsencombination das Bild eines entfernten Gegenstandes (z. B. eines Baumes oder einer Wolke etc.) sichtbar wird. Ist das Mikroskop möglichst scharf eingestellt, so ritzt man am obern oder untern Rande der Hülse, in welcher die Mikroskopröhre verschiebbar ist, eine feine Linie in die letztere ein und senkt hierauf den Focus des Instruments, bis die nach oben gekehrte Fläche des zu untersuchenden Systems (die man zu diesem Zwecke mit dem Finger betupft oder irgendwie verunreinigt) im Gesichtsfelde erscheint. Diese Stellung der Mikroskopröhre wird in gleicher Weise durch Einritzen einer feinen Linie bezeichnet. Der Abstand der beiden Linien, welcher offenbar der gesuchten Grösse gleich ist, kann nun entweder mit dem Zirkel oder, wenn er sehr klein ist, mit Hülfe eines zweiten Mikroskops bei schwacher Vergrößerung mikrometrisch bestimmt werden.

3) Man misst die Dicke der Doppellinsen oder des Systems, d. h. den Abstand der ersten und letzten brechenden Fläche. Da die Vorderflächen der Doppellinsen mit dem Rande der Fassungen meist ziemlich genau in derselben Ebene liegen, so geschieht die Messung am einfachsten in der eben beschriebenen Weise, indem man die Linse mit ihrer Vorderfläche auf den Objectträger legt und das Mikroskop nach einander auf diesen und auf die hintere gewölbte Fläche der Linse einstellt. Wo die Fassung um eine nicht zu vernachlässigende Grösse vorsteht, wird dieselbe nachträglich besonders bestimmt und abgezogen.

Aus den Daten, welche diese Messungen liefern, lässt sich die Lage der Haupt- und Brennebenen durch einfache Addition und Subtraction berechnen. Bezeichnen wir mit $N_0 N_1 N_2 N_3 N_4 N_5$ die auf einander folgenden Grenzflächen der drei Doppellinsen, mit $\varphi_0 \varphi_1$ und φ_2 ihre Brennweiten und mit $e^0 i^0, e' i', e'' i''$ ihre Hauptebenenpaare, ferner mit (f) die Brennweite der beiden hintern zum System verbundenen Linsen und mit $(E) (E)^* (F) (F)^*$ die Haupt- und Brennebenen dieses Systems, desgleichen mit f die Brennweite des ganzen Objectivs und mit $EE^* FF^*$ dessen Haupt- und Brennebenen, endlich mit d_1 und d_2 bei jeder beliebigen Combination den Abstand des entsprechenden Brennpunctes von der Vorder- und Hinterfläche; dann sind die Abscissen der verschiedenen Hauptebenen, von vorn nach hinten gerechnet, durch die Gleichungen gegeben:

$$\begin{array}{ll} e^0 = N_0 + \varphi_0 - d_1; & i^0 = N_1 + d_2 - \varphi_0 \\ e' = N_2 + \varphi_1 - d_1; & i' = N_3 + d_2 - \varphi_1 \\ e'' = N_4 + \varphi_2 - d_1; & i'' = N_5 + d_2 - \varphi_2 \\ (E) = N_2 + (f) - d_1; & (E)^* = N_5 + d_2 - (f) \\ E = N_0 + f - d_1; & E^* = N_5 + d_2 - f \end{array}$$

und ebenso erhält man:

$$E^* - E = N_5 - N_0 + d_2 + d_1 - 2f$$

$$N_0 - F = f - (E - N_0) .$$

Zur Controle dienen die Eingangs festgestellten Beziehungen zwischen den Cardinalpuncten zweier zu combinirender Systeme und denjenigen des resultirenden Systems. Man erhält durch leicht zu übersehende Substitutionen und Umsetzungen:

$$(f) = \frac{\varphi_1 \varphi_2}{\varphi_1 + \varphi_2 - (t)} ,$$

wobei

$$(t) = e'' - i' = \varphi_1 + \varphi_2 - \frac{\varphi_1 \varphi_2}{(f)}$$

und ebenso für das ganze Objectivsystem:

$$f = \frac{\varphi_0 (f)}{\varphi_0 + (f) - t} ,$$

wobei

$$t = (E) - i^0 = \varphi_0 + (f) - \frac{\varphi_0 (f)}{f} .$$

Die Grössen $N_0 - F$ und $E^* - E$ sind durch die Gleichungen bestimmt:

$$e^0 - F = f \left[1 - \frac{t}{(f)} \right]$$

$$E^* - E = \left[(E)^* - e^0 \right] - ft \left[\frac{1}{\varphi_0} + \frac{1}{(f)} \right]$$

welche, wenn man die entsprechenden Werthe substituirt, ganz allgemein für zwei beliebige Systeme von Cardinalpuncten Geltung haben.

Als Beispiel einer in der beschriebenen Weise ausgeführten Bestimmung der Cardinalpuncte theilen wir nachstehend die numerischen Data mit, die wir für ein Objectiv Nr. 9 von Bénéche erhielten. Die Brennweiten, Focalabstände und Flächenabstände betrugen in Millimetern:

1) Brennweiten.

$$\begin{aligned} \varphi_0 &= 2,6 , & \varphi_1 &= 12 , & \varphi_2 &= 11,4 \\ (f) &= 6,24 \\ f &= 3,15 . \end{aligned}$$

2) Focalabstände.

Für die	1.	Linse	$d_1 = 1,75 ;$	$d_2 = 2,8$
»	»	2.	$d_1 = 9,5 ;$	$d_2 = 13,5$
»	»	3.	$d_1 = 9,4 ;$	$d_2 = 11,4$
»	»	2.+3.	$d_1 = 2,86 ;$	$d_2 = 5,8$
für das ganze Objectiv			$d_1 = 0,43 ;$	$d_2 = - 1,05 .$

3) Flächenabstände.

$$\begin{aligned} N_1 - N_0 &= 1,37 ; & N_3 - N_2 &= 2 ; & N_5 - N_4 &= 2 ; \\ N_5 - N_2 &= 5,15 ; & N_5 - N_0 &= 7 , \\ \text{und somit} & & N_2 - N_1 &= 0,48 ; & N_4 - N_3 &= 1,15 . \end{aligned}$$

Aus diesen Grössen ergibt sich zunächst für die Hauptebenen:

$$\begin{aligned} e^0 &= N_0 + 0,85 ; & i^0 &= N_1 + 0,4 \\ e' &= N_2 + 2,5 ; & i' &= N_3 + 1,5 \\ e'' &= N_4 + 1,9 ; & i'' &= N_5 + 0 \\ (E) &= N_2 + 3,38 ; & (E)^* &= N_5 + 0,44 \\ E &= N_0 + 2,72 ; & E^* &= N_0 + 2,8 \\ i'' - e' &= 2,65 \\ (E)^* - e^0 &= 5,74 . \end{aligned}$$

Die weitem Ableitungen sind in folgender Tabelle (Columnne »Beobachtet«) enthalten und zur Vergleichung mit den nach obigen Formeln berechneten Werthen zusammengestellt *).

	Beobachtet.	Berechnet.
$e'' - i'$	1,55	1,5
$(E) - i^0$	3,76	3,66
$(E)^* - (E)$	1,33	1,05
$N_2 - (F)$	2,86	2,92
$E^* - E$	0,08	0,57
$N_0 - F$	0,43	0,45

Die auffallendste Eigenthümlichkeit des untersuchten Objectivs, die wir hier noch besonders hervorheben, besteht jedenfalls darin, dass die vordere Linse stärker ist, als das ganze System. Die Bedingungsgleichung für diesen Fall ergibt sich unmittelbar aus der Formel für die Gesamtbrennweite, indem man

$$\varphi_0 \left[\frac{(f)}{\varphi_0 + (f) - t} \right] > \varphi_0$$

setzt und hierauf beiderseits durch φ_0 dividirt. Man erhält

$$t > \varphi_0 .$$

Unter den mittelstarken Systemen, die wir genauer kennen, ist übrigens Nr. 9 von Bénèche das einzige, welches die genannte Eigenthümlichkeit besitzt; die entsprechenden Nummern von Oberhäuser und

*) Die Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Werthen in dieser Tabelle dürften zum Theil darin ihre Erklärung finden, dass die Bestimmung von d_2 für die einzelnen Linsen wegen der Undeutlichkeit des Bildes in der entsprechenden Lage nicht mit hinreichender Genauigkeit möglich ist. Dazu kommt aber noch, dass die Annahme einer in beiden Lagen gleichen Brennweite streng genommen nur für Centralstrahlen gerechtfertigt erscheint, für Randstrahlen dagegen unstatthaft wird, weil die Grösse der sphärischen Längenabweichung und damit auch der Abstand des Brennraumes beim Umkehren der Linsen eine kleine Veränderung erfährt. Eine solche Veränderung macht sich sogar bei stärkern Linsen schon bemerkbar, sobald die conjugirten Vereinigungsweiten in einem wesentlich andern Verhältniss stehen. Desswegen stimmen z. B. auch die nach verschiedenen Methoden gefundenen Werthe für die Brennweiten nie genau überein.

Plössl theilen sie nicht. Dagegen scheint dieselbe bei schwächeren Objectiven, namentlich wenn diese aus zwei weit von einander abstehenden Doppellinsen zusammengesetzt sind, ziemlich häufig vorzukommen; wir beobachteten sie z. B. an Nr. 4 von Bénéche und Nr. 4 von Hartnack. Auch beim Immersionssystem Nr. 9 von Hartnack ist die vorderste Linse etwas stärker, als das ganze Objectiv, und es dürfte diess auch bei den stärksten Systemen anderer Optiker, zumal die erste Linse gewöhnlich eine einfache Kronglaslinse ist, gerade kein seltener Fall sein.

Zum Schlusse mögen noch einige Beobachtungen über die Lage der Haupt- und Brennebenen in verschiedenen andern Objectivsystemen Platz finden. Die letzte brechende Fläche ist mit N^* bezeichnet, alle übrigen Grössen wie oben.

	Nr.	f	$N_0 - F$	$N^* - F^*$	$N^* - N_0$	$E^* - E$
Hartnack	7	3,3	0,5	+ 0,45	7,1	+ 0,55
» »	9	4,87	0,35	+ 1,45	5,1	+ 0,27
Bénéche	4	12,5	3,7	+ 3,00	16,5	- 7,8
» »	7	4,7	1,5	- 2,00	7,25	+ 1,35
» »	11	2,22	0,25	+ 3,2	5,2	- 2,19
Kellner	3	3,87	0,58	0	8,2	+ 1,04

Vierter Abschnitt.

Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung.

167 Die mikroskopische Wahrnehmung weicht in mancher Beziehung von der gewöhnlichen mit blossen Auge ab. Es erfordert daher eine längere Uebung, um in der Beurtheilung der erhaltenen Lichteindrücke jene Sicherheit zu erlangen, welche allein die Zuverlässigkeit der Beobachtung verbürgt. Durchs Mikroskop zu sehen und nach dem Gesehenen die Form und Beschaffenheit eines Objectes zu bestimmen, ist eine Kunst, die gelernt sein will, so gut wie jede andere.

Als Eigenthümlichkeit des mikroskopischen Sehens kommt zunächst in Betracht, dass das Bild, das wir beobachten, eigentlich nicht dem Gegenstande selbst, sondern nur einer bestimmten Durchschnittsebene desselben entspricht, auf welche gerade eingestellt wird. Was höher oder tiefer liegt, ist für das Auge nur undeutlich oder gar nicht sichtbar. Das Mikroskop giebt uns also nur über die Dimensionsverhältnisse der verschiedenen Durchschnittsebenen directen Aufschluss, nicht aber über deren Entfernung in der Richtung der Mikroskopaxe. Die letztere lässt sich zwar in manchen Fällen approximativ schätzen, es ist z. B. möglich, ohne Weiteres zu entscheiden, ob ein gegebenes Object kugelförmig, flach gedrückt oder seitlich zusammengedrückt sei; allein eine genauere Bestimmung der Formverhältnisse kann nur durch Drehen des Körpers um seine Axe, also durch Combination verschiedener Ansichten erzielt werden.

Nicht so beim gewöhnlichen Sehen. Hier genügt oft ein flüchtiger Blick, uns über die Form und Gruppierung nahe liegender Körper zu unterrichten, weil die Grenzen, zwischen welchen das Auge zu gleicher Zeit deutlich sieht, ziemlich weit auseinander liegen. Wir sehen also die Körper in ihrer stereometrischen Form und in ihren räumlichen Verhältnissen zu benachbarten. Ob wir dabei mit zwei Augen oder nur mit Einem sehen, wie beim Mikroskopiren, macht keinen wesentlichen Unterschied.

168 In zweiter Linie ist die Beleuchtung bei der mikroskopischen Wahrnehmung eine ganz andere, als im gewöhnlichen Leben. Durchs Mikroskop sehen wir die Gegenstände in der Regel bei durchfallendem, mit blossen Auge dagegen bei auffallendem oder reflectirtem Licht. Ein beliebiger

Punct des mikroskopischen Bildes erscheint daher um so heller, je grösser die Zahl der Lichtstrahlen, welche vor ihrem Eintritt ins Objectiv, rückwärts verlängert, nach dem entsprechenden Punct des Objectes zielen. Bilden diese Strahlen einen vollen Lichtkegel, der mit seiner Basis den optisch wirksamen Theil der Objectiv-Vorderfläche ausfüllt, so erhält der betreffende Punct das Maximum der Helligkeit. Ist dagegen die Kegelbasis nur halb so gross, so erscheint auch der betreffende Punct im Bilde nur halb erleuchtet u. s. f. Das Mikroskop entwirft also gewissermaassen ein Schattenbild, in welchem die undurchsichtigen Stellen des Objectes dunkel, die durchsichtigen sich mehr oder weniger hell darstellen, nur dass die Unebenheiten und Dichtigkeitsdifferenzen des Objectes in Folge der Brechung, die sie veranlassen, wesentlich mit zur Lichtvertheilung im Bilde beitragen.

Ganz dasselbe gilt natürlich auch für das Sehen mit blossem Auge, wenn durchscheinende Körper unter denselben Verhältnissen betrachtet werden. Dessenungeachtet ist das Bild, das wir in diesem Falle erhalten, ein wesentlich anderes, als bei der Beobachtung durchs Mikroskop, und es müssen die entgegengesetzten Angaben, die sich hie und da in mikrographischen Werken *) finden, als unrichtig bezeichnet werden. Sie beruhen nämlich auf der stillschweigend gemachten Voraussetzung, dass die ungleich grössere Oeffnung der einfallenden Lichtkegel, welche durch das Mikroskop dem Auge zugelenkt werden, auf den resultirenden Lichteffect keinen Einfluss übe. Nun lässt sich aber durch die mathematische Betrachtung dieser Frage, wie sie im Folgenden für einige Fälle durchgeführt ist, leicht nachweisen, dass die Vertheilung von Licht und Schatten im mikroskopischen Bilde vom Oeffnungswinkel des Instruments abhängig und daher nicht einmal für verschiedene Vergrösserungen, geschweige denn für das unbewaffnete Auge, die nämliche ist.

Es lässt sich also nicht in Abrede stellen, dass man die Dinge durchs Mikroskop wirklich anders sieht, als mit blossem Auge. Der mikroskopische Beobachter hat es sonach mit Bildern zu thun, die ihm anfänglich neu und ungewohnt sind; er muss sie erst richtig deuten lernen, wie die Zeichen und Wörter einer fremden Sprache. Obschon nun freilich hiezu vor Allem eine practische Schule nothwendig ist, die sich durch keine Theorie ersetzen lässt, so möchte doch eine theoretische Begründung des mikroskopischen Sehens selbst für den geübten Beobachter nicht ganz überflüssig sein, da sie in manchen Fällen willkommene Anhaltspunkte zu weiteren Folgerungen bietet. Aus diesem Grunde haben wir nachstehend eine Reihe von Fällen einer eingehenden Erörterung unterzogen und dieselbe so oft als thunlich auf mathematische Entwicklungen gestützt.**) In

*) Vgl. z. B. Harting, Das Mikroskop 1. Aufl., p. 339, 2. Aufl. II, p. 26.

**) Harting (das Mikroskop, 2. Aufl. II, p. 31) spricht sich bezüglich dieser Entwicklungen dahin aus, es sei auch auf einem weniger weitschweifigen Wege dasjenige

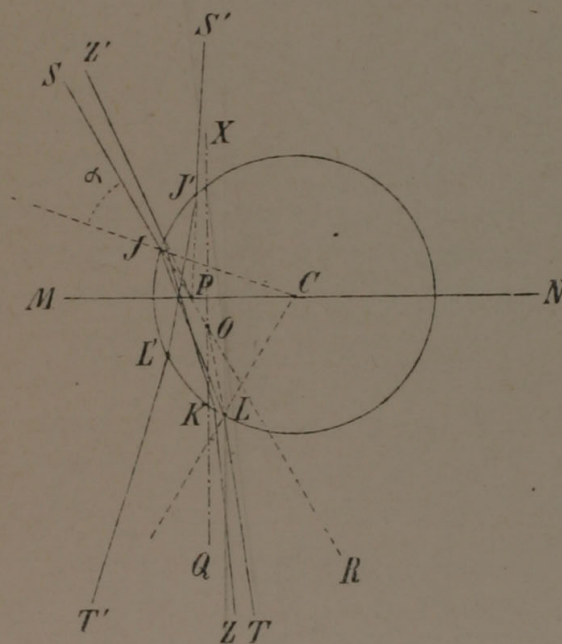
erster Linie sind die Brechungs- und Reflexionserscheinungen, welche das mikroskopische Bild gegebener Objecte bestimmen, ins Auge gefasst. Hieran reihen sich die auf Interferenz beruhenden Lichteffecte, welche früher, soweit sie bekannt waren, als Beugungserscheinungen gedeutet wurden, deren Ursprung jedoch ein sehr verschiedenartiger sein kann; endlich ist auch der schiefen Beleuchtung und den Bewegungserscheinungen eine kurze Betrachtung gewidmet.

I.

Kugelige und cylindrische Objecte.

1. Luftblasen in Wasser.

169 Es sei AB (Fig. 404) der senkrechte Durchschnitt einer in Wasser frei schwimmenden, also kugelförmigen Luftblase, und MN die Einstellungsebene des Mikroskops. Alsdann



Figur 404.

wird ein beliebiger Punkt P dieser Ebene im mikroskopischen Bild durch diejenigen Strahlen erhellt, welche nach ihrem Durchgang durch die Luftblase von diesem Punkte zu kommen scheinen und durch die Brechung im Mikroskop dem Auge zugeführt werden. Die Neigung dieser Strahlen zur Senkrechten kann selbstverständlich nicht grösser werden, als der halbe Oeffnungswinkel des Objectivs. Wird dieser letztere z. B. zu 60° angenommen, so erreicht sie ihr Maximum mit 30° . Ebenso wird die Neigung der von unten kommenden Strahlen, wenn nämlich Spiegel

und Lichtquelle eine hinlängliche Ausdehnung haben, durch die Grösse der

deutlich zu machen, worauf es hier eigentlich ankomme. Wir zweifeln auch keinen Augenblick, dass Harting mit dieser Ansicht nicht allein steht. Allein für uns und gewiss noch für viele Andere kommt es hier wie anderwärts immer auf dasselbe an, nämlich die Erscheinungen, die wir beobachten, zu verstehen und auch in den Details richtig zu deuten. Da dürfen wir denn wohl behaupten, dass die Harting'schen Darlegungen das mikroskopische Bild der Luftblase, des Hohlcyllinders etc. nicht erklären. Wer diese Dinge näher kennen lernen will, darf vor mathematischen Entwicklungen nicht zurückschrecken.

Blendung bestimmt. Der Winkel, unter welchem die letztere vom Centrum der Luftblase aus gesehen wird, ist der nämliche, den die peripherischen Strahlen des einfallenden Lichtkegels bilden. Beträgt dieser Winkel $= 30^\circ$, so ist hiemit auch die Grösse des Ablenkungswinkels, welchen die ausfahrenden Strahlen mit den zugehörigen einfallenden bilden, für Randstrahlen wie TS , welche vor und nach der Brechung an der Oberfläche des Lichtkegels liegen, bestimmt.

Zieht man nämlich durch den Kreuzungspunct O des einfallenden und ausfahrenden Strahls das Perpendikel XQ , so hat man, wenn die angenommenen Oeffnungswinkel von 60° und 30° ganz allgemein ω und δ genannt werden:

$$\angle SOT = 180^\circ - \angle TOR$$

oder da
$$\angle TOR = \angle QOR - \angle QOT = \frac{\omega - \delta}{2}$$

$$\angle SOT = 180^\circ - \frac{\omega - \delta}{2},$$

also im gegebenen Falle $\angle SOT = 180^\circ - 15^\circ = 165^\circ$.

Da nun ein durch O gezogener Radius diesen Ablenkungswinkel halbt und die Richtung des Strahls in der Luftblase rechtwinklig kreuzt, so ergibt sich, wenn man mit α den Einfallswinkel, mit α' den Brechungswinkel und mit ϱ den halben Ablenkungswinkel bezeichnet, die weitere Beziehung:

$$\alpha' - \alpha = 90^\circ - \varrho = 7\frac{1}{2}^\circ.$$

Nimmt man den mittlern Brechungscoefficienten des Wassers zu 1,3356 an, so wird dieser Gleichung Genüge geleistet, wenn $\alpha = 20^\circ 45'$, indem alsdann $\alpha' = 28^\circ 15'$.

Die Lage des Punctes P ist hierdurch bestimmt; das Dreieck CPJ giebt die Relation:

$$CP : r = \sin \alpha : \sin \left[180^\circ - \left(90^\circ - \frac{\omega}{2} \right) \right];$$

folglich
$$CP = r \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \left(90^\circ + \frac{\omega}{2} \right)} = \frac{\sin 20^\circ 45'}{\sin 60^\circ} \cdot r = 0,64838 \cdot r.$$

Denken wir uns nun einen nahe liegenden zweiten Strahl ZK , welcher weniger gegen die Verticale geneigt ist und nach der Brechung ebenfalls vom Puncte P zu kommen scheint, so ist einleuchtend, dass derselbe sich mit dem ersten Strahl irgendwo kreuzen muss und daher etwas näher dem Centrum die Objectivlinse trifft. Denn verfolgt man die beiden Strahlen in umgekehrter Richtung von oben nach unten, so rückt ihr Convergenzpunkt P in Folge der Brechung an der unendlich klein gedachten Fläche bei J bloss etwas nach links und kommt dabei in ein anderes Niveau zu liegen; eine Kreuzung findet aber unter allen Umständen innerhalb der Luftblase statt. Dasselbe gilt natürlich auch von jedem folgenden Strahl mit Rücksicht auf den vorhergehenden. Je weiter wir also im aus-

fahrenden Lichtkegel von der Linken zur Rechten fortschreiten, um so mehr rückt der entsprechende einfallende Strahl von der Rechten zur Linken; seine Neigung gegen die Senkrechte wird allmählig kleiner und geht dann in die entgegengesetzte über, deren Maximum ebenfalls 45° beträgt.

Es ist von selbst klar, dass dieses Maximum der Abweichung eintreten muss, ehe die ausfahrenden Strahlen auf der rechten Seite den Grenzwert von 30° erreicht haben, da ja die zweimalige Brechung immer eine Ablenkung nach links verursacht. Die Rechnung zeigt, dass im gegebenen Falle der Randstrahl $T' L'$ nach dem Durchgang durch die Luftblase noch etwas mehr als 18° nach links geneigt ist.

- 170 Diese Erörterungen führen zunächst zu dem Schluss, dass alle in der Ebene des Papiers liegende Strahlen des einfallenden Lichtkegels*) zur Erleuchtung des Punctes P beitragen. Aber auch von den Strahlen, die nicht in diese Ebene fallen, geht keiner verloren. Denn da sie nach der Brechung sämtlich vom Puncte P zu kommen scheinen und überdiess mit dem nach dem Austrittspuncte gezogenen Radius in derselben Ebene liegen, sonach die Papierebene in der Linie MN schneiden, so wird man alle möglichen Lagen derselben erschöpfen, wenn man alle Strahlen zwischen SJ und $S' J'$ (Fig. 404) unter Beibehaltung des Convergenzpunctes aus der Papierebene heraushebt und sie nach oben und unten so weit divergiren lässt, dass die entsprechenden einfallenden Strahlen den Rand der Blendung streifen. Dass die Neigung der herausgehobenen Strahlen zur Papierebene im gegebenen Falle höchstens 45° betragen kann und für die beiden Randstrahlen $= 0$ wird, ist ohne Weiteres klar. Es hält auch nicht schwer, sich davon zu überzeugen, dass unter diesen Umständen sämtliche ausfahrende Strahlen den wirksamen Theil der Objectivlinse treffen.

Der Punct P erscheint demnach, da der ganze einfallende Lichtkegel zu seinem Bilde beiträgt, eben so hell, als irgend ein anderer Punct des Gesichtsfeldes. Dasselbe gilt natürlich auch von allen Puncten, welche dem Centrum näher liegen; nur ist für diese die Brechung eine geringere, so dass die ausfahrenden Lichtkegel einen mehr centralen Theil der Objectiv-Vorderfläche treffen. Der Mittelpunkt selbst wird von Strahlen erhellt, welche ungebrochen durchgehen.

Dagegen macht sich für die Puncte, welche weiter vom Centrum abstehen, wie z. B. p (Fig. 405), ein Ausfall des Lichtes bemerkbar. Für diese wird nämlich der Austrittswinkel ($=$ Einfallswinkel) α , wie ein Blick auf die Figur zeigt, grösser und folglich $\varrho (= 90^{\circ} - [\alpha' - \alpha])$ kleiner. Ein mit TL (Fig. 404 und 405) paralleler Randstrahl wird daher so ge-

*) Der Ausdruck Lichtkegel ist für die einfallenden Strahlen nicht streng mathematisch zu verstehen, da dieselben keinen gemeinsamen Convergenzpunct haben.

brochen, dass er mehr als 30° von der Senkrechten abweicht, also für das Auge verloren geht. Dieser Verlust tritt natürlich schon für den zunächst gelegenen Punkt ein; er erstreckt sich allmählig, wenn wir der Peripherie immer näher rücken, auch auf die mehr links gelegenen Strahlen des Lichtkegels, bis endlich nur noch der mit $T'L'$ parallele Randstrahl tl das Auge erreicht. Alle ausserhalb der Papierebene verlaufenden Strahlen sind für diese Grenzlage unwirksam.

Die Bestimmung dieses Grenzpunktes geschieht genau in derselben Weise, wie diejenige des Punctes P . Ist ϱ der halbe Ablenkungswinkel, so besteht die Gleichung:

$$\varrho = 90^\circ - \frac{\omega + \delta}{4}.$$

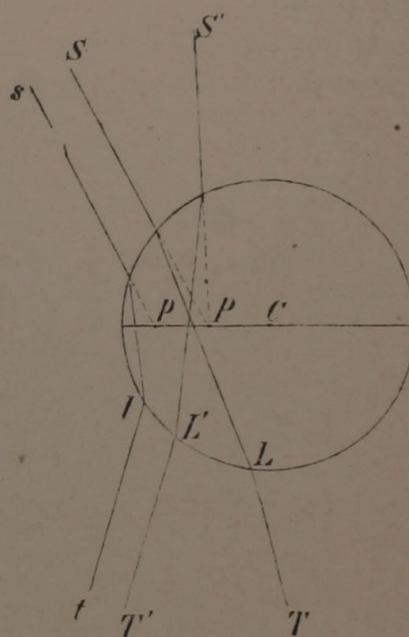
also im gegebenen Fall

$$\varrho = 90^\circ - \frac{60^\circ + 30^\circ}{4} = 67\frac{1}{2}^\circ.$$

Aus der oben abgeleiteten Relation $\alpha' - \alpha = 90^\circ - \varrho$ ergibt sich ferner $\alpha' - \alpha = 22\frac{1}{2}^\circ$. Diese letztere Differenz tritt für den angenommenen Brechungscoefficienten ein, wenn $\alpha = 43^\circ$; alsdann wird $\alpha' = 65^\circ 37'$. Die fragliche Entfernung des Grenzpunktes — es sei p in Fig. 105 — ist demnach durch die Formel gegeben:

$$Cp = \frac{\sin 43^{\circ}}{\sin 60^{\circ}} \cdot r = 0,7875 \cdot r.$$

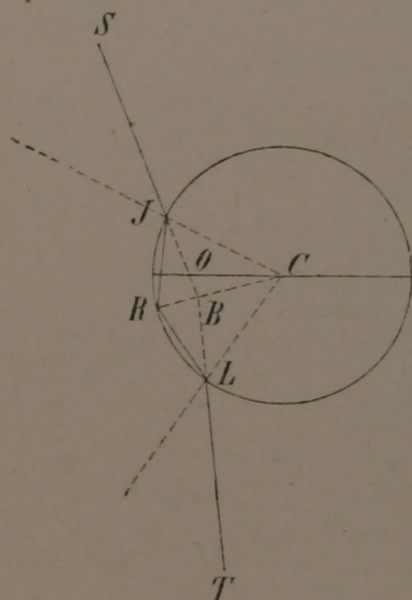
Die Luftblase müsste also unter einem Mikroskop mit den angemessenen Oeffnungswinkeln einen schwarzen Rand zeigen, dessen Breite = $(1 - 0,7875)r = 0,2125.r$. Der mittlere Theil bis P würde so hell als das Gesichtsfeld erscheinen und die Zone zwischen P und p den Uebergang vermitteln. Eine Aenderung der Oeffnungswinkel durch Anwendung verschiedener Objective und Blendungen könnte nur die numerischen Verhältnisse, nicht aber die Lichtvertheilung im Allgemeinen modificiren. Bei grössern Werthen für ω und δ müsste der schwarze Rand schmaler, bei kleinern breiter ausfallen. Schiefe Beleuchtung hätte eine excentrische Lage des hellen Kreises zur Folge.*



Figur 403.

*) Harting (Mikr. 2. Aufl. II, p. 30 u. 32 Anmerkung) erklärt sich mit dieser Anschauung, wonach der Oeffnungswinkel ω die Breite des dunkeln Randes mit beeinflusst, nicht einverstanden. Er stützt sich hiebei auf seine Beobachtungen und Messungen, nach welchen der Durchmesser des hellen centralen Theils einzig und allein von der angularen Grösse der Lichtquelle, beziehungsweise der Blendungsöffnung abhängig sein soll. Das ist nun ganz entschieden unrichtig, und wir begreifen in der That nicht, wie

In Wirklichkeit zeigt nun aber das mikroskopische Bild der Luftblase ein wesentlich anderes Aussehen. Der helle innere Theil erscheint zwar allerdings von einer dunklern Zone umschlossen, welche allmählig in vollkommenes Schwarz übergeht; dieselbe erstreckt sich aber nicht bis zum

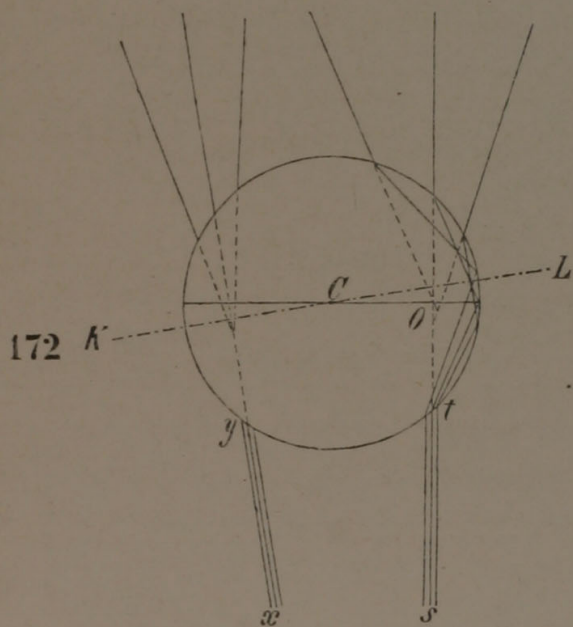


Figur 106.

Rand, sondern wird nach aussen durch einen hellen Ring abgegrenzt, auf welchen sodann bis zur Peripherie ein ziemlich gleichmässiger Halbschatten folgt. Bei genauerer Beobachtung erkennt man etwas ausserhalb des erwähnten hellen Ringes noch einen zweiten weniger deutlichen; ja der ganze Halbschatten erweist sich als von abwechselnd hellern und dunklern concentrischen Kreisen gebildet.

Diese Erscheinungen lassen sich durch die Brechung allein nicht erklären; sie rühren von Strahlen her, welche ausserdem eine ein- oder zweimalige innere Reflexion erfahren haben. Es sei TL (Fig. 106) ein solcher Strahl, welcher in R reflectirt

und in J zum zweiten Mal gebrochen wird; dann ist, wie sich ohne Weiteres



Figur 107.

aus der Figur ergibt, JBC der halbe Ablenkungswinkel, für den wir wieder das Zeichen φ einführen wollen. Da φ ein Aussenwinkel zum Dreieck JBR , so hat man $\varphi = \angle BJR + \angle BRJ$, oder wenn α wieder den Einfallswinkel und α' den Brechungswinkel bezeichnet:

$$\varphi = (\alpha' - \alpha) + \alpha' = 2\alpha' - \alpha.$$

Es wäre leicht, nach dieser Gleichung die Grenzen zu bestimmen, zwischen denen die Luftblase in Folge der innern Spiegelung beleuchtet erscheint. Damit wäre indess die Frage noch keineswegs erledigt. Es erscheint zweckmässiger, von einem bestimmten Falle auszugehen, welcher direct zur Lösung unseres Problems führt, von

dem Falle nämlich, wo der ein- und austretende Strahl in derselben geraden

Harting zu solchen Ergebnissen gelangen konnte. Man lege doch nur ein beliebiges kleines Stück Papier oder Stanniol, das man in der Mitte mit einer Nadel durchstoichen, als Diaphragma zwischen die Objectivlinsen und betrachte hierauf das Bild einer kugelförmigen Luftblase; man braucht alsdann nicht erst zu Messungen seine Zuflucht zu nehmen, um den Einfluss des Oefnungswinkels zu constatiren.

Linie liegen und folglich der Winkel φ ein rechter wird. Dieselbe Grösse erreicht alsdann auch die Differenz $2\alpha' - \alpha$, woraus sich für α ein Werth von $43\frac{1}{2}^\circ$ ergibt. Denken wir uns nun statt des einfallenden Strahls ein paralleles Strahlenbündel st (Fig. 407), so geht natürlich nur derjenige Strahl, dessen α genau den bezeichneten Werth hat, in der ursprünglichen Richtung weiter. Alle übrigen Strahlen des Bündels werden mehr oder weniger abgelenkt, und zwar — wie die Rechnung zeigt — nach links von der Verticalen, wenn $\alpha < 43\frac{1}{2}^\circ$ und nach rechts, wenn $\alpha > 43\frac{1}{2}^\circ$. Als Beispiele sind nachstehend einige berechnete Werthe zusammengestellt. Die erste Columne enthält die Einfallswinkel α , die zweite die entsprechende Ablenkung φ von der Verticalen nach rechts oder links; in der dritten wurden die Entfernungen der Punkte hinzugefügt, in welchen die austretenden Strahlen die Einstellungsebene schneiden.

Einfallswinkel α .	Abweichung von der Senkrechten φ .	Abstand der Durchschnitts- puncte vom Centrum.
37°	40° links	$0,7856 \cdot r$
39°	$29^\circ 12'$ »	$0,7209 \cdot r$
40°	$23^\circ 24'$ »	$0,7004 \cdot r$
42°	$10^\circ 40'$ »	$0,6809 \cdot r$
$43\frac{1}{2}^\circ$	0°	$0,6883 \cdot r$
45°	$43^\circ 12'$ rechts	$0,7263 \cdot r$
47°	$36^\circ 32'$ »	$0,9314 \cdot r$

Parallele Strahlen, deren Einfallswinkel zwischen 40° und circa 44° variiren, erhalten demnach durch die innere Spiegelung, verbunden mit der Brechung an der Oberfläche, eine solche Richtung, dass sie sämmtlich von Puncten zu kommen scheinen, deren Abstand vom Centrum $0,68—0,70 \cdot r$ beträgt und also höchstens um $\frac{1}{50}$ des Radius differirt. Mit andern Worten: dem einfallenden parallelstrahligen Lichtbündel entspricht ein ausfahrender Lichtkegel, dessen virtueller Convergenzpunct O etwas unter die Einstellungsebene, jedoch nahezu in die Linie fällt, welche den ohne Ablenkung austretenden Strahl darstellt. Hier concentrirt sich also für unser Auge der ganze Lichteffect, welchen das einfallende Bündel auf diesem Wege hervorzubringen vermag. Dazu kommt, dass jedes andere Strahlenbündel xy (Fig. 407), welches bei gleichen Einfallswinkeln um einige Grade nach rechts oder links abweicht (wurde, um Verwirrung zu vermeiden, auf der opponirten Seite gezeichnet) sich mit Rücksicht auf die rechtwinklig dazu errichtete Diametralebene KL ebenso verhält, so dass also die Helligkeit des Punctes O noch durch unendlich viele andere verstärkt wird, welche etwas höher oder tiefer liegen und mit jenem eine ununterbrochene Lichtlinie bilden.

Einfallswinkel α	Abweichung von der Senkrechten φ	Abstand der Durchschnitts- punkte in der Einstellungs- ebene vom Centrum.
$43\frac{1}{2}^{\circ}$	46° links	$0,995 \cdot r$
44°	$39\frac{1}{2}^{\circ}$ »	$0,900 \cdot r$
45°	$25^{\circ} 12'$ »	$0,781 \cdot r$
46°	$8^{\circ} 36'$ »	$0,727 \cdot r$
$46^{\circ} 28'$	0°	$0,725 \cdot r$
47°	$44^{\circ} 48'$ rechts	$0,747 \cdot r$
48°	42° »	$1,000 \cdot r$

Der äussere helle Ring kommt demnach in einer Entfernung von $0,725 \cdot r$ vom Centrum zu Stande. Er steht um $0,0366 \cdot r$ oder annähernd um den 27sten Theil des Halbmessers vom innern ab und erscheint in einem etwas höhern Niveau am schärfsten contourirt. Seine geringere Lichtstärke erklärt sich theils durch den stärkern Verlust in Folge der zweimaligen Spiegelung, theils durch die enger gezogenen Grenzen der Einfallswinkel (c. $45\frac{1}{2}^{\circ}$ — 47°).

Aus dem Angeführten lässt sich zugleich die Folgerung ziehen, dass 174 weitere helle Ringe durch Strahlenbündel gebildet werden, welche eine 3—4- oder mehrmalige innere Reflexion erfahren haben. Es mag genügen, für diese Fälle die Bedingungen zusammenzustellen, unter welchen die ausfahrenden Strahlen keine Ablenkung zeigen und hienach die Punkte zu bestimmen, in welchen sie, rückwärts verlängert, die Einstellungsebene schneiden. Die Abstände dieser Punkte dürfen hier ohne Weiteres mit denen der entsprechenden Ringe identificirt werden.

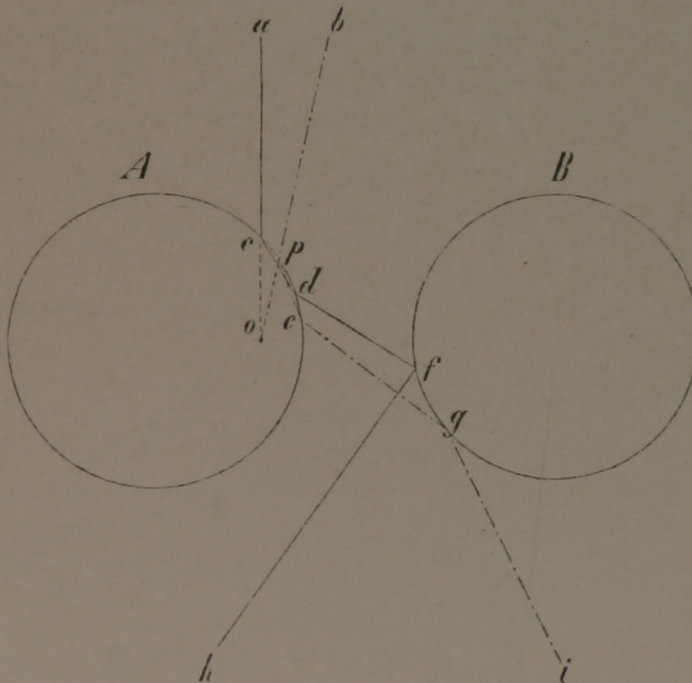
Zahl der innern Reflexionen	Bedingungsgleichung für den ohne Ablenkung austretenden Strahl	Einfalls- winkel α	Brechungs- winkel α'	Abstand der Ringe vom Centrum
3	$4\alpha' - \alpha = 270^{\circ}$	$47^{\circ} 23'$	$79^{\circ} 23'$	$0,7359 \cdot r$
4	$5\alpha' - \alpha = 360^{\circ}$	$47^{\circ} 47'$	$84^{\circ} 33'$	$0,7406 \cdot r$
5	$6\alpha' - \alpha = 450^{\circ}$	48°	83°	$0,7431 \cdot r$
6	$7\alpha' - \alpha = 540^{\circ}$	$48^{\circ} 7'$	$84^{\circ} 3'$	$0,7447 \cdot r$

Es versteht sich von selbst, dass diese Reihe ihren Abschluss findet, sobald der Einfallswinkel seinen Grenzwert, welcher für Wasser und Luft $48^{\circ} 29'$ beträgt, erreicht hat. Der diesem Grenzstrahl entsprechende Ring, der übrigens nicht mehr wahrnehmbar sein kann, würde um $0,7487 \cdot r$, also annähernd $\frac{3}{4}$ des Halbmessers vom Centrum abstehen.

Daraus folgt indessen noch nicht, dass der übrig bleibende Theil des Randes nicht ebenfalls durch die innere Spiegelung beleuchtet werde. Vielmehr geht aus den mitgetheilten Tabellen hervor, dass die hier in Betracht kommenden Lichtstrahlen, sofern sie nicht zur Bildung der Ringe beitragen, sämmtlich so abgelenkt werden, dass sie von Puncten zu kommen scheinen, welche ausserhalb des entsprechenden Ringes liegen. Als Gesamtwirkung muss sich daher eine schwache Erhellung des Randes ergeben, während der Kernschatten innerhalb der Ringe wegen gänzlichen Lichtmangels vollkommen schwarz erscheint.

- 175** Da die Abstände der Ringe von Grössen abhängen, welche ihrerseits durch den Brechungsindex des umgebenden Mediums bestimmt werden, so lässt sich erwarten, dass Flüssigkeiten von grösserer Dichtigkeit, wie Oel, Glycerin u. dgl., die mitgetheilten Zahlenverhältnisse modificiren. In Oel mit dem Brechungscoefficienten 1,5 erhält man z. B. für den innersten hellen Ring einen Abstand von $0,5937 \cdot r$ vom Centrum, was mit der Beobachtung vollkommen übereinstimmt. Aus demselben Grunde liegen die Ringe im blauen Licht stets etwas näher dem Centrum, als im rothen, woraus sich denn erklärt, dass sie bei Anwendung von weissem Licht auf der Innenseite blau und auf der Aussenseite roth umsäumt erscheinen.

- 176** Auffallend deutlich treten die hellen Ringe, und damit auch die Farbensäume, an den zugekehrten Seiten benachbarter Luftblasen hervor.



Figur 409.

Das schwache Halblight, welches dem Randschatten einen grauen Ton verleiht, steigert sich hier zu einem intensiven Lichtstreifen, der nach innen zu scharf gezeichnete, den Ringen entsprechende Linien erkennen lässt, nach aussen dagegen als homogener Schimmer erscheint. Wie eine solche Verstärkung des Lichteffectes durch die Wirkung einer Luftblase auf eine andere hervorgebracht wird, lässt sich am einfach-

sten darthun, indem man die Strahlen des ausfahrenden Lichtkegels rückwärts verfolgt und an den Reflexionsstellen durch Brechung ins Wasser übergehen lässt, worauf sie durch die benachbarte Luftblase theilweise

nach unten gegen die Blendung reflectirt werden. So gelangen z. B. die Strahlen ac und bp (Fig. 109), welche nach dem Puncte o im zweiten Ringe der Luftblase A convergiren und nach zweimaliger Brechung sich in den Richtungen df und eg fortbewegen, durch Reflexion an der Luftblase B nach h und i . Sind ac und bp die Randstrahlen eines von oben einfallenden Lichtkegels, so sind fh und gi auch die Randstrahlen des entsprechenden ausfahrenden. Umgekehrt müssen daher auch, wenn die Bewegung des Lichtes von unten nach oben stattfindet, die Strahlen des weit geöffneten Kegels $hfgi$ sich zu dem spitzen Bündel $acpb$ sammeln und somit die Beleuchtung des Punctes o vermitteln. Nähern sich hf und ig der Verticalen, was mit der Verkleinerung der Blendung gleichbedeutend ist, so rücken auch ac und bp sich gegenseitig näher. Das zum Objectiv gelangende Lichtbündel wird dadurch geschwächt, bleibt aber nach wie vor etwas nach rechts geneigt. Diese Neigung schlägt aber in die entgegengesetzte um, wenn die Luftblasen sich beträchtlich weiter von einander entfernen. Die Richtungslinien df und eg nähern sich alsdann mehr der Horizontalen; ac und bp rücken in Folge dessen weiter nach links, fast so, als ob die Luftblase A sich in derselben Richtung um ihre Axe drehte. Das ausfahrende Lichtbündel wechselt also je nach der Entfernung der beiden Luftblasen seine Neigung zur Axe des Mikroskops.

In ähnlicher Weise lässt sich auch die Verstärkung der übrigen Ringe, wie überhaupt die intensivere Beleuchtung des Randes veranschaulichen. Man hat nur nöthig, den entsprechenden Lichtkegel zu construiren und einzelne Strahlen desselben, ähnlich wie in Fig. 109, rückwärts zu verfolgen, um sich über die verschiedenen hierher gehörigen Erscheinungen Rechenschaft zu geben.

Betrachtet man die Luftblase ohne Rücksicht auf die Einstellungsebene 177 als brechenden Apparat, so wirkt sie im Wesentlichen wie eine biconcave Linse. Ihre Brennweite f , welche natürlich negativ ausfällt, wird durch die Formel bestimmt:

$$f = - \frac{r}{2(n-1)},$$

wobei r der Radius und n der Brechungscoefficient des umgebenden Mediums. Da die beiden Hauptpuncte, wie in jeder Kugel, mit dem Centrum zusammenfallen, so ist obiger Ausdruck auch gleich dem Abstand des Brennpunctes vom Mittelpuncte. In Oel mit dem Brechungsindex 1,5 wird $f = -r$, in Wasser annähernd $-\frac{3}{2}r$, welche Werthe indess durch die Aberration der Randstrahlen mehr oder minder (in Wasser um circa $0,2 \cdot r$) reducirt werden*).

*) Durch ein achromatisches Linsensystem wird ein einfallender Lichtkegel stets so gebrochen, als ob derselbe von Strahlen von ungefähr mittlerer Neigung gebildet würde, d. h. der Lichtkegel verhält sich wie ein Kegelmantel von geringerer Oeffnung. Hieraus erklärt sich, dass das Auflegen eines Deckplättchens auf ein beliebiges Object eine scheinbare Annäherung desselben um eine bestimmte Grösse bedingt, obschon

Senkt man also den Focus des Mikroskops auf das Niveau des Brennpunctes herunter, so kommt dort das Bild entfernterer Gegenstände, die gerade im Spiegel sich reflectiren oder in den einfallenden Lichtkegel eingetaucht werden, zum Vorschein. Seine Umrisse erscheinen um so schärfer gezeichnet, je mehr man durch die Wahl der Blendung oder der Beleuchtung schief gegen die Axe einfallende Strahlen ausschliesst und je weniger die Randstrahlen des zum Objectiv gelangenden Lichtkegels von der Senkrechten abweichen. Ein senkrecht von unten einfallendes, parallelstrahliges Lichtbündel liefert bei Anwendung einer mässigen Vergrösserung ein so scharfes Bild, dass es bei etwas höherer oder tieferer Einstellung sich sogleich verwischt.

Die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Strahlen bringt es mit sich, dass der ausfahrende Lichtkegel in der Mitte nur rothe, an der Peripherie nur violette Strahlen enthält. Man könnte versucht sein, hieraus die Thatsache zu erklären, dass der helle, farblose Kreis, welcher das Bild der Blendung darstellt, bei etwas höherer Einstellung nicht nur beträchtlich grösser wird, sondern auch ein röthliches Centrum und einen bläulichen Saum zeigt. Diese Farbenerscheinungen, wie sie in gleicher Weise auch bei reellen Bildern vorkommen, haben jedoch ihre wahre Ursache nicht im Object selbst, sondern in der chromatischen Aberration des Mikroskops, welche durch höhere Einstellung überverbessert, durch tiefere unterverbessert wird. Man überzeugt sich hievon durch das einfache Experiment, welches man gewöhnlich bei der Prüfung des Aberrationszustandes anwendet, indem man nämlich das Bildchen eines Fensters, das sich in einem Quecksilbertropfen abspiegelt, als Object benutzt. Hebung und Senkung des Focus führen alsdann dieselben Farbenerscheinungen herbei, welche auch die durch Brechung entworfenen Bildchen der Luftblasen zeigen.

2. Oeltropfen in Wasser.

- 178 Wir betrachten den Oeltropfen in Wasser ganz allgemein als Repräsentant eines beliebigen Körpers mit kreisförmigem Verticalschnitt, der in ein Medium mit kleinerem Brechungscoefficienten eingetaucht ist. Um die

der mathematische Ausdruck für diese Annäherung vom Neigungswinkel der Lichtstrahlen abhängig ist und daher keinen bestimmten Werth ergibt. Ein Deckplättchen von 227 Mik. Dicke bewirkt z. B. für die Objective 7 und 9 von Benèche eine Hebung des Objectpunctes von 80 Mik., woraus sich die maassgebende Neigung, wenn der Brechungscoefficient des Glases zu 1,5 angenommen wird, auf c. 48° berechnet. Diese nämliche Neigung bedingt auch die Lage des Brennpunctes einer Luftblase. Sie verursacht überdiess (wenn das Objectiv nicht in Wasser getaucht wird) noch eine weitere Verkürzung der Brennweite, welche daher rührt, dass ein im Wasser befindliches Object um so stärker gehoben erscheint, je tiefer es liegt. Der Brennpunct erfährt demnach eine stärkere Hebung, als das Centrum der Luftblase, und wird dadurch dem letztern scheinbar näher gerückt. Wir werden diese Erscheinung, die bei directer Messung von Niveaudifferenzen nicht vernachlässigt werden darf, weiterhin ausführlich besprechen.

Lichtvertheilung in einer gegebenen Durchschnittsebene, auf welche das Mikroskop eingestellt ist, zu bestimmen, wenden wir auch hier das Princip der Reciprocität des Strahlenganges an, indem wir Lichtbündel rückwärts vom Objectiv nach beliebigen Punkten der Einstellungsebene construiren, und hierauf deren Wege nach der Blendung hin verfolgen. Seien wiederum ω und δ die Oefnungswinkel des Objectivs und der Blendung, MN (Fig. 410) die Einstellungsebene, FL ein nach dem Punct P zielender Strahl, welcher nach zweimaliger Brechung in der Richtung TS sich fortbewegt, endlich α und α' der Einfalls- und Brechungswinkel; dann ist der halbe Ablenkungswinkel:

$$\varrho = \frac{1}{2} LOT = LOC,$$

und man erhält aus dem rechtwinkligen Dreieck, dessen Hypotenuse LO , die Relation:

$$\varrho = 90^\circ - (\alpha - \alpha').$$

Für diejenigen Punkte in der Einstellungsebene, deren Helligkeit der des Gesichtsfeldes gleichkommt, gelten nun aber dieselben Beziehungen und Deductionen, welche bereits oben (Nr. 169) entwickelt wurden. Die dort beigelegten Constructionen finden auch hier Anwendung, wenn man sich die Strahlenkegel, so wie sie dargestellt sind, von der linken Hälfte des Kreises auf die rechte hinübergeschoben denkt, so dass die Brechungsstellen wieder auf die Peripherie fallen. Man hat also:

$$\varrho > 90^\circ - \frac{\omega - \delta}{4}$$

und hieraus durch Combination mit obiger Gleichung:

$$\alpha - \alpha' < \frac{\omega - \delta}{4}.$$

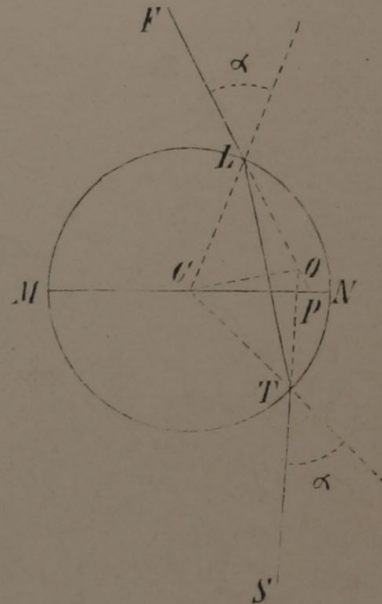
Ebenso ergibt sich für die Grenzpunkte, welche nur noch von den äussersten Randstrahlen erhellt werden:

$$\varrho = 90^\circ - \frac{\omega + \delta}{4}$$

und sonach

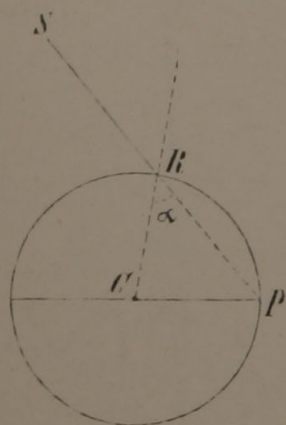
$$\alpha - \alpha' = \frac{\omega + \delta}{4}.$$

Mit Hülfe dieser Gleichungen könnten nun leicht die Grenzen be- 179 stimmt werden, bis zu welchen in irgend einem gegebenen Falle Kern- und Halbschatten reichen. Bei der grossen Verschiedenheit der Zahlenverhältnisse, die in der Praxis vorkommen können, gewährt jedoch die Erörterung eines bestimmten Beispiels kein besonderes Interesse; es mag genügen, auf einige allgemeinere Folgerungen hier noch aufmerksam zu machen.



Figur 410.

Es sei SR (Fig. 111) ein Randstrahl des ausfahrenden Lichtkegels, welcher (rückwärts verlängert) die durch C gelegte Einstellungsebene im Punkte P der Kugeloberfläche schneidet. Alsdann ist sein Einfallswinkel α , wie ein Blick auf die Figur zeigt, gleich dem Winkel $RPC = 90^\circ - \frac{\omega}{2}$. Ist nun



Figur 111.

für diese Grösse des Einfallswinkels $\alpha - \alpha' < \frac{\omega + \delta}{4}$ oder sogar kleiner als $\frac{\omega - \delta}{4}$, so fällt im erstern Fall der Kernschatten, im zweiten auch der Halbschatten weg. Die Kugel erscheint also unter Umständen von einem Rand bis zum andern gleichmässig beleuchtet. Dieser Fall tritt ein, wenn der Brechungscoefficient derselben $= 1,5$, $\omega = 60^\circ$ und $\delta \leq 22^\circ$ ist; diess vorausgesetzt wird nämlich $\alpha - \alpha' = 9\frac{1}{2}^\circ$ und $\frac{\omega - \delta}{4} \geq 9\frac{1}{2}^\circ$. Oeltropfen, kugelige Stärkekörner, cylindrische Haare u. dgl., deren Brechungsvermögen von dem eben angenommenen nicht sehr abweicht, zeigen daher bei stärkern Vergrösserungen keinen Randschatten, während die schwächern Objective ihn um so deutlicher hervortreten lassen, je kleiner ihr Oeffnungswinkel. Am breitesten müsste er natürlich bei der Beobachtung mit blossem Auge erscheinen, da alsdann ω als verschwindend klein zu betrachten wäre.

Wenn bei gleichbleibendem ω der Winkel δ variiert, so ändert sich die Lichtvertheilung in folgender Weise. Ist $\delta = 0$, die einfallenden Strahlen also parallel, so werden die Bedingungsgleichungen für den Kern- und Halbschatten identisch, d. h. die Grenzen beider fallen zusammen, oder was dasselbe ist, der Halbschatten fällt weg. Nimmt δ allmählig zu, so wird der Kernschatten schmaler, der Halbschatten breiter. Die innere Grenze des letztern erreicht endlich, wenn $\delta = \omega$, das Centrum; die Kugel erscheint dann nirgends so hell beleuchtet, als das Gesichtsfeld. Wird $\delta > \omega$, so rückt die Grenzlinie des Halbschattens wieder nach aussen, ebenso die des Kernschattens. Beide erreichen früher oder später, je nach der Grösse von ω , die Kugeloberfläche.

Werden nun auch diese theoretischen Folgerungen durch die Ungleichheit des Verlustes, welchen die verschieden geneigten Strahlen in Folge der Reflexion an den Linsenoberflächen erleiden, sowie ferner durch die Aberrationen des Objectes und des Mikroskops etwas modificirt, so lehrt doch das Experiment, dass die berechneten Grenzen zwischen Licht und Schatten für jede beliebige Combination von ω und δ nahezu mit den beobachteten übereinstimmen. Sieht man z. B. durch die Mikroskopröhre (nach Wegnahme des Objectiv- und Oculareinsatzes) bei gewöhnlicher Beleuchtung auf eine Glaskugel oder einen cylindrischen Glasstab herunter,

welche in den einfallenden Lichtkegel eingetaucht sind, so erscheint die beleuchtete Mitte beinahe nur als Punct oder als Linie und der breite Randschatten tief schwarz. Hält man aber dieselben Objecte gegen den freien Himmel, wobei also δ sehr gross wird, so erscheinen sie von einem Rande bis zum andern hell.

Die Brennweite f einer Kugel oder eines Cylinders für parallel einfallende Lichtstrahlen wird durch die Formel bestimmt: 180

$$f = \frac{n' r}{2(n' - n^0)},$$

wobei n' und n^0 beziehlich die Brechungsexponenten der Kugelsubstanz und des umgebenden Mediums und r den Radius der Kugel bezeichnet. Ist z. B. $n' = 1,5$ und $n^0 = 1$, so ergibt sich als Abstand des Brennpunctes vom Centrum $\frac{3}{2}r$. — Stellt man also das Mikroskop auf das entsprechende Niveau ein, so erscheint dort das reelle Bild entfernterer Gegenstände, von welchen gerade Licht durch die Blendung zum Object gelangt. Dasselbe zeichnet sich sowohl bei Oeltropfen und kugeligen Stärkekörnern, als auch bei cylindrischen Haaren, Bastzellen u. dgl. mit auffallender Schärfe, wenn man nur die Blendung ziemlich weit nach unten zurückzieht oder auf irgend eine andere Weise den Parallelismus der einfallenden Strahlen herstellt. Unter günstigen Umständen ist es sogar möglich, aus der bekannten Entfernung und Grösse des Gegenstandes und der genau gemessenen Grösse des Bildchens den Brechungscoefficienten der Substanz bis auf die zweite Decimale genau zu bestimmen. Die dabei anzuwendende Formel lässt sich leicht aus der eben abgeleiteten für die Brennweite *) und der bekannten Relation der conjugirten Vereinigungsweiten $\left(\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}\right)$, welche jenen Grössen proportional sind, entwickeln. Ist M der Durchmesser des fraglichen Gegenstandes, z. B. der Blendung, p seine Entfernung vom Object, m der Durchmesser des Bildchens, endlich n^0 und n' die Brechungscoefficienten, so findet man:

$$n' = - \frac{2 p n^0}{2 p - \left(1 + \frac{M}{m}\right) r}, \text{ oder annähernd } n' = \frac{2 p n^0}{2 p - \frac{M}{m} r}$$

wobei in der letztern Formel vorausgesetzt ist, dass p im Verhältniss zu r sehr gross sei.

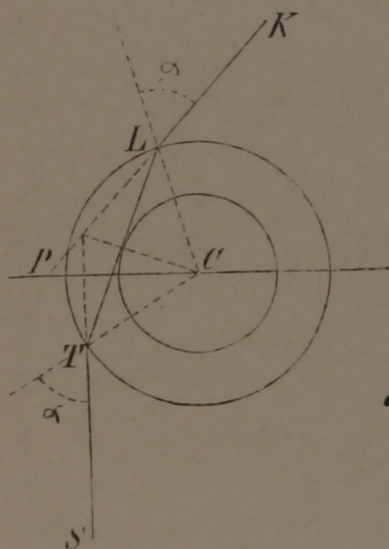
Wollte man diese Formeln auf Kugeln mit negativen Brennweiten anwenden, so wäre das zweite Glied des Nenners positiv zu nehmen. Man hätte also

$$n' = \frac{2 p n^0}{2 p + \frac{M}{m} r} \text{ und hieraus } n^0 = \left(1 + \frac{M r}{2 p m}\right) n'.$$

*) Die Formel für die Brennweite bedarf übrigens wegen der Kugelabweichung der Randstrahlen einer kleinen Correction, die zum Theil von der Eigenthümlichkeit des Objectivs abhängt. Hierüber gilt, was oben über die Brennweite der Luftblase bemerkt wurde (s. Anmerkung zu Nr. 177).

3. Hohlkugel und Hohlcyylinder.

181 Die folgende Betrachtung findet ihre Anwendung auf röhrenförmige Zellen, Oeltropfen und Zellkerne mit Vacuolen, Stärkekörner mit runden Höhlungen u. dgl. Der Kürze wegen und um eine bestimmte Vorstellung zu haben ist jedoch durchgehends nur vom Hohlcyylinder die Rede. Die Lichtbündel, welche bei einem solchen Object auf das mikroskopische Bild Einfluss üben, nehmen — wie sich erwarten lässt — einen vierfach verschiedenen Verlauf. Es sind nämlich 1) Randstrahlen, welche die Wandung der cylindrischen Röhren durchsetzen, ohne das Lumen zu erreichen; 2) Randstrahlen, welche die Innenfläche des Cylinders sehr schiefwinklig treffen und dort reflectirt werden; 3) Strahlen, welche in das Lumen eindringen, an der Wandung reflectirt werden und dann nach zweimaliger Brechung zum Objectiv gelangen; 4) Strahlen, welche das Lumen geradlinig durchsetzen und folglich eine viermalige Brechung erleiden.



Figur 112.

Die Randstrahlen, welche bloss zweimal gebrochen werden, verhalten sich natürlich genau, wie im soliden Cylinder. Es hängt hier aber nicht bloss von den Oeffnungswinkeln ω und δ , sondern auch von der Dicke der Wandung ab, ob und wieviel sie zur Beleuchtung der letztern beitragen. Ist r der kleine und R der grosse Radius des Hohlzylinders, die Dicke der Wand also $R - r$, ferner $STLK$ (Fig. 112) ein Grenzstrahl, welcher

- nach der ersten Brechung die Innenwand tangirt, α und α' sein Einfallswinkel und Brechungswinkel und n der Brechungsindex, so hat man $\sin \alpha' = r$, $\sin \alpha = \frac{n \sin \alpha'}{R}$, folglich

$$\sin \alpha = \frac{nr}{R}. \text{ Für die Randstrahlen im Allgemeinen}$$

gilt demnach die Bedingung $\sin \alpha > \frac{nr}{R}$. Da sie überdiess, wenn sie bei mittlerer Einstellung zur Erhellung der Wand mitwirken sollen, der allgemeinen Gleichung genügen müssen: $\alpha - \alpha' < \frac{\omega + \delta}{4}$, so gehen sie für das mikroskopische Bild verloren, sobald $\frac{nr}{R}$ eine gewisse Grösse erreicht. Sie kommen also bei gegebenen Brechungsverhältnissen nur bei dickern Wandungen in Betracht.

Ist z. B. $n = \frac{1,649}{1,335}$ (Brechungsverhältniss zwischen Flintglas und Wasser) und $\frac{r}{R} = 0,8$, so findet man $\alpha \geq 81^\circ$, $\alpha' \geq 53^\circ 8'$, $\alpha - \alpha'$ also

practisches Interesse, die Lage dieses Brennraumes, welcher im mikroskopischen Bilde als helle Linie erscheint, mit dem Grössenverhältniss zwischen R und r zu vergleichen und sich im Allgemeinen über die hier bestehenden Beziehungen zu orientiren. Es wurden daher nachstehend einige Werthe von $r : R$ mit den entsprechenden Abständen des virtuellen Focus vom Centrum (in der Tabelle mit F bezeichnet) zusammengestellt und die zugehörigen Einfalls- und Brechungswinkel beigesetzt. Der Brechungscoefficient wurde dabei zu $\frac{1,5}{1,3356}$ angenommen und R als Einheit gewählt. Die Grössen F und r sind also in Bruchtheilen des grössern Halbmessers ausgedrückt.

α	α'	r	F
20°	17° 44'	0,304	0,3420
25°	22° 6'	0,3768	0,4226
30°	26° 26'	0,4460	0,500
35°	30° 43'	0,5121	0,5735
40°	34° 55'	0,5746	0,6427
45°	39° 4'	0,6331	0,7070
50°	43° —	0,6872	0,7660
55°	46° 50'	0,7368	0,8194
60°	50° 27'	0,7804	0,8660
65°	53° 48'	0,822	0,9063
70°	56° 48'	0,8594	0,9397
75°	59° 49'	0,8933	0,9659
80°	61° 46'	0,9259	0,9848

Der virtuelle Brennraum steht also durchweg etwas weiter vom Centrum ab, als die innere Grenzfläche der Cylinderwandung. Da nun, wie die Rechnung zeigt, alle Strahlen, deren Einfallswinkel bei gleichen Radien etwas grösser oder kleiner sind als die oben bezeichneten, stets von Punkten zu kommen scheinen, welche der Peripherie näher liegen, so folgt daraus, dass der innerste Theil der Wandung in einer Breite von $F - r$ in den Kernschatten fällt, während der peripherische (ähnlich wie bei der Luftblase der Rand ausserhalb der Ringe) eine schwache Beleuchtung erhält, die jedoch unter den oben entwickelten Bedingungen durch die sub 1, erwähnten Randstrahlen verstärkt wird. Die resultirende Helligkeit erreicht in vielen Fällen, wenn das umgebende Medium Wasser ist und ω und δ ziemlich gross gewählt werden, diejenige des Gesichtsfeldes, so dass die helle Linie gegen den Rand zu ohne bestimmte Abgrenzung und somit nur noch als schwache Steigerung des Lichteffectes erscheint.

Die Voraussetzung, die in der Praxis gewöhnlich stillschweigend gemacht wird, dass nämlich das Lumen einer cylindrischen Zelle so weit reiche als der Randschatten, ist also nach dem Angeführten eine wesentlich unrichtige. Der Irrthum ist um so grösser, je stärker das Brechungsvermögen der Substanz; er wird nur dann verschwindend klein, wenn das Object in einem Medium von annähernd gleicher Dichtigkeit liegt. Dasselbe gilt natürlich auch von den Hohlräumen in Stärkekörnern, Zellkernen, Oeltropfen u. dgl.; sie erscheinen sämmtlich etwas grösser, als sie wirklich sind.

Da bei dünnern Wandungen die Reflexion eine vollständigere und in vielen Fällen eine totale ist, so erreicht die helle Linie hier auch eine grössere Intensität. Am schönsten tritt sie in Glasröhren hervor, welche von Wasser umgeben und mit Luft gefüllt sind.

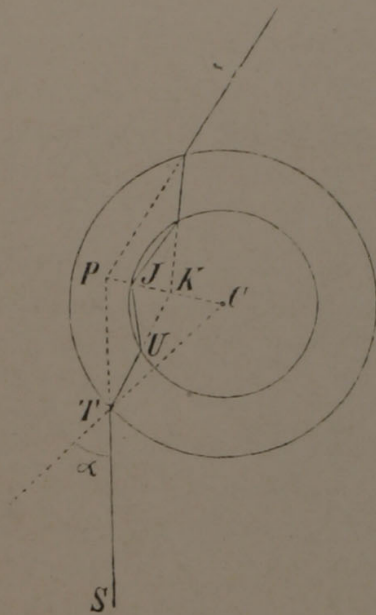
Die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Strahlen verursacht auch hier, wie bei der Luftblase, schmale Farbensäume an den Rändern der hellen Linie, und zwar erscheint, wie sich aus den Brechungsverhältnissen von selbst ergibt; der äussere Saum blau und der innere roth.

Zum Schlusse mag hier noch eine kleine Tabelle Platz finden, welche den Einfluss des Brechungscoefficienten n auf den Abstand der hellen Linie für verschiedene Werthe von r veranschaulicht. Die Zahlen wurden theilweise durch Interpolation bestimmt, sind jedoch bis zur dritten Decimale genau. Als Einheit wurde, wie oben, der grössere Halbmesser R angenommen.

Halbmesser des Hohlraums r	Abstand der hellen Linie vom Mittelpunkt		
	$n = \frac{1,5}{1,3356}$	$n = \frac{1,4}{1,3356}$	$n = \frac{1,35}{1,3356}$
0,5	0,5598	0,5236	0,5054
0,6	0,6707	0,6284	0,6064
0,7	0,7798	0,7329	0,7075
0,8	0,8842	0,8366	0,8085
0,9	0,9698	0,9378	0,9095

Wir haben drittens die Strahlen zu verfolgen, welche in den Hohlraum eindringen und an der Wandung reflectirt werden, so dass sie erst nach viermaliger Brechung und einmaliger Reflexion zum Objectiv gelangen. Dieser Strahlengang bedingt, wie der entsprechende in der Luftblase, die Bildung einer zweiten hellen Linie, welche wie immer dem Punkte entspricht, in welchem der ohne Ablenkung austretende Strahl (rückwärts verlängert) die Einstellungsebene schneidet. Um diesen Punkt zu bestimmen, betrachten wir den senkrecht von unten einfallenden Strahl

ST (Fig. 444), dessen Einfallswinkel, wie bisher, α und α' heissen mögen. Die Winkel, welche mit Rücksicht auf die innere Grenzfläche



Figur 444.

der Wandung als Einfallswinkel und Brechungswinkel erscheinen, seien α'' und α''' und der halbe Ablenkungswinkel $CPT = \varrho$. Alsdann ist $\varrho = \angle CKT - (\alpha - \alpha')$, oder da CKT als Aussenwinkel zum Dreieck UKJ

$$= (\alpha''' - \alpha'') + \alpha''' = 2\alpha''' - \alpha''$$

$$\varrho = 2\alpha''' + \alpha' - (\alpha'' + \alpha)$$

wobei $\sin \alpha'' = \frac{R}{r} \sin \alpha' = \frac{R}{nr} \sin \alpha$, und $\sin \alpha'''$

$$= n \sin \alpha'' = \frac{R}{r} \sin \alpha, \text{ wenn } n \text{ der relative}$$

Brechungscoefficient der Cylindersubstanz. Für den ohne Ablenkung austretenden Strahl ergibt sich also die Bedingung $2\alpha''' + \alpha' - (\alpha'' + \alpha) = 90^\circ$. Ist das umgebende Medium, sowie das eingeschlossene, Wasser und der Brechungscoefficient des Hohlcyllinders

$n = \frac{4,5}{1,3336}$, so erhält man für die nachstehend angenommenen Verhältnisse zwischen r und R die beigesetzten Werthe von α und hieraus die Abstände F der hellen Linie vom Centrum.

$\frac{r}{R}$	α	α'	α''	α'''	F
0,8	$51^\circ 48'$	$44^\circ 24'$	61°	$79^\circ 43'$	0,7859
0,8904	$64^\circ 30'$	$54^\circ 30'$	$64^\circ 30'$	$80^\circ 45'$	0,8788

Bei der zweiten Reihe wurde $\frac{r}{R} = \frac{4}{n}$ gesetzt, wodurch

$$\sin \alpha'' = \sin \alpha, \text{ folglich } \alpha'' = \alpha$$

wird. — Die Vergleichung der letzten Column mit der ersten ergibt, dass die Werthe von F etwas kleiner sind als diejenigen von r , oder mit andern Worten, dass die innere helle Linie in den Hohlraum fällt. Es ist übrigens ohne Weiteres klar, dass der Abstand derselben von der Wandung mit dem Brechungscoefficienten zu- und abnimmt; denn da α''' von n unabhängig ist, so wird, wenn man die Bedingungsgleichung in die Form bringt:

$$2\alpha''' - [\alpha + (\alpha'' - \alpha')] = 90^\circ$$

der in $[\]$ stehende Ausdruck kleiner, wenn n zunimmt, weil alsdann α'' und α' und damit auch ihre Differenz kleiner wird. Es muss daher ein grösseres α gewählt werden, um in diesem Fall der Gleichung Genüge zu

leisten; die helle Linie rückt weiter nach innen. Ebenso erklärt sich das Hinausrücken der Linie, wenn n abnimmt. Diese Verschiebungen sind jedoch, wie die Rechnung zeigt, so klein, dass sie in den meisten vorkommenden Fällen geradezu vernachlässigt werden können. Beispielsweise sind nachstehend einige Werthe von n und F zusammengestellt. Das dabei vorausgesetzte Verhältniss der Radien ist $r = 0,8 R$.

Werthe von n	1,1231	1,2345	1,6490
Zugehörige Werthe $\left. \begin{array}{l} \text{von } F \end{array} \right\}$	0,7859	0,7799	0,7694

Bleibt der Brechungscoefficient constant, während das Verhältniss der 185 Radien sich ändert, so steigt die Differenz zwischen r und F , bis r ungefähr $\frac{1}{2}R$, und fällt nachher wieder, wenn $r < \frac{1}{2}R$. Aber auch hier sind die Veränderungen so gering, dass sie in den meisten Fällen vernachlässigt werden dürfen. Sie erreichen z. B. von $r = 0,8$ bis $r = 0,5$ kaum die Höhe von $0,007 \cdot R$. Zur Vergleichung mag auch hier eine kleine Uebersicht folgen, in welcher die Grösse $r - F$ (der Abstand der hellen Linie von der Wandung) für verschiedene Werthe von r gegeben ist. Als Brechungsverhältniss wurde $n = 1,649$ vorausgesetzt.

Werthe von r	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2
Zugehörige Werthe $\left. \begin{array}{l} \text{von } r - F \end{array} \right\}$	0,0306	0,0365	0,0372	0,0345	0,0211

Ist der Hohlzylinder mit Luft gefüllt und von Wasser umgeben, so 186 nimmt die innere helle Linie nahezu die nämliche Stelle ein, wie in einer freien Luftblase; sie wird durch den Einfluss der Cylinderwandung nur um eine äusserst geringe Grösse dem Centrum näher gerückt. Es sei z. B. der absolute Brechungscoefficient der Cylinderwandung $= 1,4$, der des Wassers $= 1,3356$, dann ergeben sich für die Abstände F der Linie vom Centrum die nachstehend in erster Reihe aufgeführten Werthe, zu welchen als zweite Reihe die etwas höhern hinzugefügt wurden, wie sie bei gleichem r sich in dem frei gedachten Luftcylinder herausstellen müssten. Alle Zahlenverhältnisse sind, wie bisher, in Bruchtheilen von R ausgedrückt.

	Abstand der hellen Linie vom Centrum		
	$r = 0,8$	$r = 0,7$	$r = 0,5$
Im Hohlcyylinder .	0,5485	0,4792	0,3445
Im frei gedachten Luftcyylinder .	0,5504	0,48785	0,3442
Differenz . . .	0,0022	0,0026	0,0027

Steigt der Brechungsindex der Cylindersubstanz auf 1,5, so rückt die helle Linie noch etwas weiter nach innen. Ihr Abstand reducirt sich alsdann, wenn $r = 0,8R$, auf $0,5458R$; die als Differenz bezeichnete Grösse steigt dabei auf $0,0054$. — Der Einfluss der Cylinderwandung auf die fraglichen Abstände bleibt also, wie aus den angeführten Beispielen hervorgeht, wohl in allen vorkommenden Fällen auf die dritte Decimale beschränkt; demnach beträgt die dadurch verursachte Verschiebung der Linie, so lange R kleiner als 400 Mik., weniger als 4 Mik. und kann füglich vernachlässigt werden. In diesem Falle lässt sich aus der Lage unserer Linie in der eingeschlossenen Luft der Radius r des Lumens und daher auch die Dicke der Wandung ($R - r$) berechnen. Man hat nämlich nach Früherem für die freie Luftblase $F = 0,68836 \cdot r$, folglich für den Hohlcyylinder, wenn man als mittlere Verschiebung $c. 0,00636 \cdot r$ in Rechnung bringt, $F = 0,683 \cdot r$, woraus $r = \frac{F}{0,683} = 1,464 F$. Die Grösse F wird am genauesten durch directe Messung von $2F$, d. h. des Abstandes der beiderseitigen hellen Linien, bestimmt.

187 Die innere helle Linie liegt, ganz wie bei der Luftblase der innere Ring, dem Centrum näher als jeder andere Punct, welcher auf dem nämlichen Wege beleuchtet wird. Innerhalb derselben kommt also (natürlich nur mit Rücksicht auf diesen Strahlengang) vollkommen dunkler Kernschatten, weiter nach aussen dagegen ein schwach erhellter Halbschatten zu Stande, der gegen die äussere helle Linie zu allmählig dunkler wird. Unter günstigen Verhältnissen treten im innern Theil des Halbschattens noch weitere helle Linien hervor, deren Entstehung sich durch mehrmalige innere Reflexion erklärt.

188 Endlich sind noch die Strahlen in Betracht zu ziehen, welche ohne innere Reflexion das Lumen durchsetzen und also bloss eine viermalige Bréchung erfahren. Es ist von vornherein klar, dass dieselben den mittlern Theil des Hohlcyinders erhellen, aber gegen die Ränder zu für unser Auge verloren gehen. Die Puncte, wo der Halbschatten beginnt und wo er in den Kernschatten übergeht, verändern natürlich je nach der Grösse der Oeffnungswinkel ω und δ , der Dicke der Wandung und dem Brechungsvermögen der verschiedenen Medien ihre Lage. Zur Bestimmung der

letztern durch eine allgemein gültige Formel führt folgende Betrachtung. Würde der von unten einfallende Strahl ST (Fig. 445), wie im vorhergehenden Falle, an der Innenwand reflectirt, so wäre der Ablenkungswinkel des nach R' ausfahrenden Strahls durch die Gleichung gegeben:

$$2\varrho = 4\alpha''' + 2\alpha' - 2(\alpha'' + \alpha).$$

Durch den Umstand, dass die Reflexion unterbleibt, erleidet nun aber der Strahlengang dieselbe Modification, wie wenn in obiger Figur die Linie CN' mit dem unbeweglich damit verbundenen reflectirten Strahl um den Punkt C wie ein Uhrzeiger nach links gedreht würde, bis CN' mit CN zusammenfiel. Führen wir diese Bewegung in Gedanken aus, so wird der Ablenkungswinkel 2ϱ um den Winkel $N'CN = 180^\circ - 2\alpha'''$ grösser. Durch

Addition dieses Werthes zu dem oben angeführten erhält man sonach den Ablenkungswinkel 2ϱ für den viermal gebrochenen Strahl, und hieraus

$$\varrho = 90^\circ + \alpha''' + \alpha' - (\alpha'' + \alpha).$$

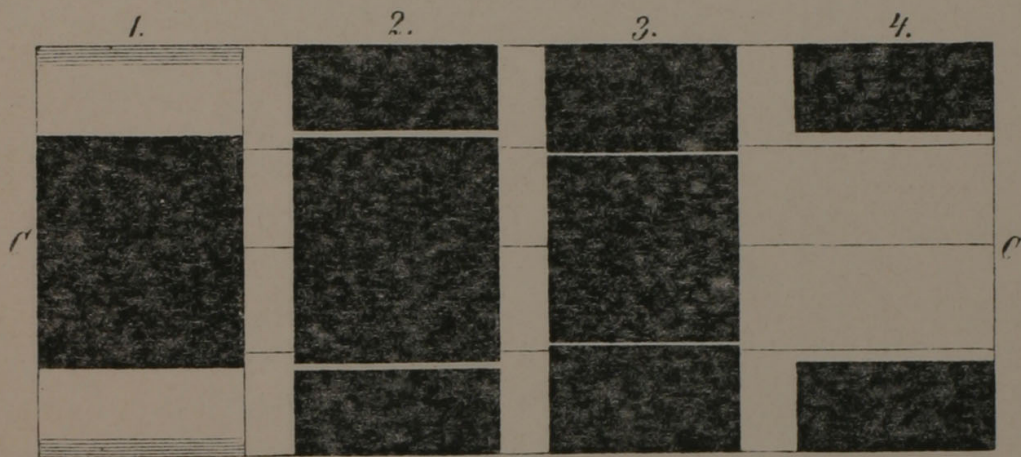
Die Richtung des ausfahrenden Strahls ist hierdurch für jede beliebige Neigung des einfallenden bestimmt. Sind daher die Oeffnungswinkel des Objectivs (ω) und der Blendung (δ) gegeben, so lassen sich die Grenzen des Kern- und Halbschattens in der Einstellungsebene berechnen. Man findet für die Abstände dieser Grenzlinien vom Centrum, wenn $R = 4$, $n = \frac{1,500}{1,3356}$, $\omega = 60^\circ$ und $\delta = 42^\circ$ gesetzt wird, die in nachstehender Uebersicht gegebenen Werthe.

r	Grenzlinien des Halbschattens	Grenzlinien des Kernschattens
0,8	0,862	0,947
0,5	0,557	0,57

In Wirklichkeit liegen jedoch die Grenzlinien des Schattens, wenn die eben gemachten Voraussetzungen annähernd zutreffen, stets etwas weiter nach innen. Es rührt diess offenbar daher, dass die Intensität der Grenzstrahlen, für welche z. B. $\alpha''' 80^\circ$ und darüber erreichen kann, durch

die wiederholte Reflexion an den brechenden Flächen bedeutend geschwächt und daher für das beobachtende Auge früher als nach der Theorie Null wird. Auf diese Weise wird es erklärlich, dass die innere helle Linie auch bei ziemlich starker Vergrößerung noch in den Randschatten des Hohlraums fällt.

Um die Wirkung der vier verschiedenen Strahlensysteme zu veranschaulichen, wurde in Fig. 116 die Vertheilung von Licht und Schatten für jeden einzelnen Strahlengang bildlich dargestellt, und zwar für den Fall,



Figur 116.

dass $R = 2r$. Nummer 1 giebt das Bild der zweimal gebrochenen Strahlen, welche die Wandung geradlinig durchsetzen; 2 stellt die äussern hellen Linien dar, welche von den zweimal gebrochenen und an der Innenfläche der Wandung ein Mal reflectirten Strahlen herrühren; Nummer 3 die feinen innern Linien, welche den in die Höhlung eingedrungenen und an der innern Wandfläche ein Mal reflectirten Strahlen entsprechen; endlich 4 den Randschatten, welchen die das Lumen durchsetzenden, also 4 Mal gebrochenen Strahlen für sich allein bedingen würden. Da Kern- und Halbschatten beinahe zusammenfallen, so wurden der Einfachheit wegen durchgehends nur die Grenzlinien des Kernschattens gezogen und zur Orientirung die äussern und innern Umrisse der Cylinderwandung und die Cylinderaxe CC als durchgehende Linien hinzugefügt.

189 Betrachten wir den Hohlzylinder, ohne Rücksicht auf die Einstellungsebene, einfach als brechenden Apparat, so wirkt er auf die Randstrahlen, welche nicht in das Lumen eindringen, wie eine Kugel von gleicher Dichtigkeit, auf die mittlern Strahlen dagegen, welche den Hohlraum durchsetzen, wie eine Zerstreuungslinse. Er entwirft daher von Gegenständen, die sich im Spiegel reflectiren, gleichzeitig reelle und virtuelle Bilder, welche beide für das Auge wahrnehmbar werden, sobald man den Tubus auf das entsprechende Niveau einstellt. Die Lage des reellen Brennpunctes ist natürlich annähernd dieselbe, wie bei der Kugel; diejenige des virtuel-

len lässt sich aus den früher entwickelten Formeln für die optischen Constanten brechender Medien bestimmen. Bezeichnet man die negative Brennweite, von der Axe des Cylinders an gerechnet, mit F , den absoluten Brechungsindex mit n und die Radien wie bisher mit R und r , so ergeben sich unter den nachstehend angeführten Voraussetzungen die beigesetzten Werthe.

Medium	Werthe von F wenn $n = 1,5$	Werthe von F wenn $n = 1,6$
$r = 0,5$ { In Wasser In Luft Mit Luft gefüllt umgeben von Wasser	$3,344 R = 6,628 \cdot r$ $1,5 R = 3 \cdot r$ $0,571 R = 1,142 \cdot r$	$2,489 R = 4,978 \cdot r$ $1,333 R = 2,666 \cdot r$ $0,45 \cdot R = 0,9 \cdot r$
$r = 0,4$ { In Wasser In Luft	$0,363 R = 3,63 \cdot r$ $0,466... R = 1,66 \cdot r$	$0,238 R = 2,38 \cdot r$ $0,448 R = 1,48 \cdot r$

Diese Uebersicht gestattet freilich nur eine sehr oberflächliche Orientirung über die Lage des Brennpunctes in Hohlcyindern. Sie hat auch nur den Zweck, durch Beispiele zu zeigen, welchen Einfluss im Allgemeinen das Verhältniss der Radien und das umgebende Medium auf die Brennweite üben. Man begreift übrigens leicht, dass wenn r gegen R sehr klein wird, die Krümmung der Cylinderoberfläche nicht mehr berücksichtigt zu werden braucht; der optische Effect ist dann annähernd derselbe, welchen ein Hohlraum von gleichem Halbmesser in einer homogenen Substanz von der Dichtigkeit der Cylindermembran und mit ebenen Grenzflächen nach oben und unten hervorbringen würde. Ebenso ist einleuchtend, dass wenn das Verhältniss $r : R$ sich der Einheit nähert, die Brennweite immer grösser und zuletzt unendlich wird. Dabei bleibt das virtuelle Bild natürlich nur bis zu einer gewissen Grenze, jedoch bei absolut kleinen Werthen von r und R noch an ziemlich dünnwandigen Röhren mikroskopisch wahrnehmbar.

Werden die Brennweiten für die oben zusammengestellten Fälle auf experimentellem Wege bestimmt, indem man die Verschiebung der Mikroskopröhre mit Hülfe eines zweiten, wagrecht gestellten Mikroskops misst, so erhält man auch hier durchgehends kleinere Werthe als die berechneten, weil die beobachtete Brennweite, wie bereits oben (Nr. 177) hervorgehoben wurde, sich stets nur auf Randstrahlen bezieht, welche je nach der Stärke und Eigenthümlichkeit des Objectivs mehr oder weniger (z. B. c. 15—20°) gegen die Axe geneigt sind.

Da das Bild eines Hohlcyinders, wie jedes reelle oder virtuelle Bild,

als Lichtquelle betrachtet werden kann, so wird die Einstellung auf die Ebene desselben in jedem achromatischen Instrumente ein farbloses mikroskopisches Bild liefern, eine höhere oder tiefere Einstellung dagegen die bekannten rothen und blauen Farbensäume hervorrufen. Demzufolge erscheinen kleine Hohlräume, welche ein Medium von geringerem Brechungsvermögen einschliessen, wie die Lumina der Bastfasern, die Kerne der Stärkekörner etc., wenn wir ein chromatisch unterverbessertes Mikroskop voraussetzen, bei tieferer Einstellung farblos und hell, bei höherer röthlich und zuletzt dunkel. Die wahre mittlere Einstellung auf das Centrum des Hohlraumes liegt unter allen Umständen zwischen diesen beiden Extremen und liefert daher, wenn die Dimensionen klein genug sind, ein röthliches Bild.

II.

Objecte von unregelmässiger Form.

1. Membranen mit kleinen Vertiefungen oder Löchern.

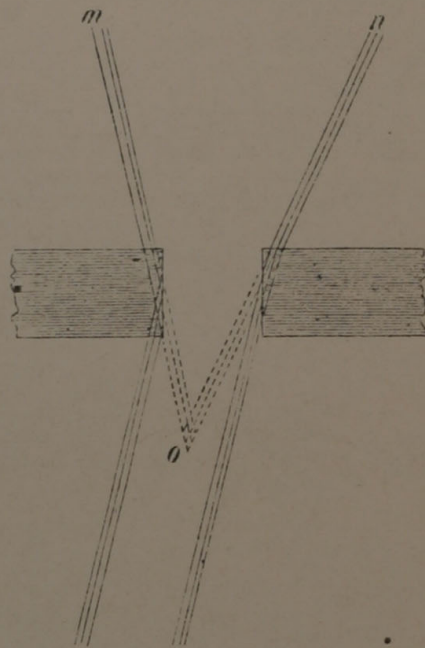
190 Es ist ohne Weiteres klar, dass kleine schüsselförmige oder rinnenförmige Vertiefungen, wie sie in Fig. 117 dargestellt sind, wie Concavlin-
sen wirken und folglich bei entsprechender Senkung des Tubus das virtuelle Bild der Blendung zeigen. Und zwar müsste dasselbe, insofern nicht seine Kleinheit ein Hinderniss bildet, sowohl dem unbewaffneten als bewaffneten



Figur 117.

Auge deutlich erscheinen. Sobald aber die Form der Vertiefung sich wesentlich ändert, z. B. prismatisch oder cylindrisch wird, so dass sie nach unten eine ebene Grenzfläche erhält, so verschwindet das Bild für das blosse Auge, während es im Mikroskop wegen des ungleich grössern Oeffnungswinkels immer noch wahrnehmbar bleibt. Man überzeugt sich hiervon, wenn man eine Salzlösung (Kochsalz, Bittersalz u. a.) auf dem Objectträger ausbreitet und an der Luft eintrocknen lässt. Es bilden sich dann stellenweise (zuweilen namentlich sehr schön nach Zusatz von wasserhaltigem Alkohol) grössere homogene Lamellen oder ausgedehnte Krusten mit einer Unzahl von kleinen porenartigen Löchern oder Vertiefungen von der verschiedensten Form, an andern Stellen mit Spalten, Rinnen u. s. w. Bei den meisten derselben kommt das Bild der Blendung, der Fensterrahmen etc., wenn man den Focus etwas unter die mittlere Einstellungsebene senkt, mit ziemlicher Schärfe zum Vorschein, oft eben so deutlich als bei einer etwas abgeplatteten Luftblase.

Wie diese Bilder zu Stande kommen, ist aus Fig. 418 ersichtlich. Der 191 Rand der Oeffnung oder Vertiefung bewirkt einerseits eine Ablenkung der von einem entfernten Punkte ausgehenden und folglich annähernd parallel einfallenden Strahlen nach n , andererseits eine Herumlendung derselben durch Totalreflexion nach m . Die beiden Bündel scheinen also nach dem Durchgang durch das Object von dem kleinen Raume o zu kommen, in welchem sie sich rückwärts verlängert kreuzen; sie entwerfen in o das virtuelle Bild der entfernten Lichtquelle. Rückt die letztere weiter nach rechts, so macht auch ihr Bild eine Bewegung in gleichem Sinne, wie diess überhaupt bei virtuellen Bildern der Fall ist.



Figur 418.

Das Zustandekommen des Bildes hängt übrigens keineswegs von der Regelmässigkeit der brechenden Flächen ab, wie sie in unserer Figur vorausgesetzt wurde. Es ist ziemlich gleichgültig, ob die gebrochenen Strahlen genau parallel verlaufen, oder ob sie etwas divergiren oder convergiren, da hierdurch bloss der Raum, in welchem ihre Verlängerungen sich kreuzen, etwas grösser oder kleiner wird. Er bleibt aber immerhin so klein, dass er gegen die grössern Abweichungen, welche das Deckplättchen verursacht, nicht in Anschlag kommt und dem beobachtenden Auge als Punkt erscheint.

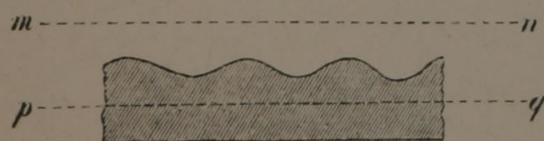
Selbst wenn die einfallenden Strahlenbündel nur durch den einen Rand der Oeffnung zum Auge gelangen, sich also rückwärts verlängert nicht kreuzen, entsteht aus demselben Grunde, wie bei Lichtstrahlen, die durch eine kleine Oeffnung gehen, ein undeutliches Bild. Es nimmt aber in diesem Falle keine bestimmte Stelle ein, sondern erscheint nur um so grösser, je tiefer man einstellt. Bei günstiger Einstellung müssen zu diesem Bilde sogar Strahlen beitragen, welche die Oeffnung ohne Brechung durchsetzen.

Auf welchem Wege nun auch das Bild zu Stande komme, ob es mehr 192 oder weniger verwischt oder scharf gezeichnet erscheine, immer wird die Einstellung auf ein höheres oder tieferes Niveau dieselben Erscheinungen hervorrufen, die wir schon beim virtuellen Bild der Luftblase kennen gelernt haben. Bei Hebung des Tubus wird die Mitte roth und der Rand bläulich erscheinen, während eine Senkung unter den virtuellen Brennraum die umgekehrte Anordnung der Farben bedingt — jedoch selbstverständlich Beides nur unter der Voraussetzung, dass das Objectiv unterverbessert sei. Da diess bei den meisten Mikroskopen der Fall ist, so sehen

kleine Poren, Spalten, rinnenförmige Vertiefungen u. dgl., wenn man ungefähr auf ihre Mitte einstellt, immer röthlich aus, und zwar je nach der Eigenthümlichkeit des Instruments mehr oder weniger. Auch die bläuliche Einfassung ist trotz ihrer geringen Breite in manchen Fällen bemerkbar.

2. Membranen mit einer ebenen und einer wellenförmigen Grenzfläche.

193 Die erhabenen Stellen solcher Membranen (Fig. 119) wirken offenbar wie Sammellinsen, die Vertiefungen wie Zerstreuungslinsen. Demnach muss die Licht- und Farbenvertheilung im Allgemeinen folgende sein. Bei



Figur 119.

höchster Einstellung (mn) auf die reellen Bilder der Vorsprünge erscheinen diese hell und die Vertiefungen je nach der Krümmung dunkel oder röthlich. Senkt man den Tubus, so erhalten die Vor-

sprünge einen bläulichen Ton, und die Vertiefungen bleiben so lange roth, bis man die Ebene (pq) ihrer virtuellen Bilder erreicht hat. Bei noch tieferer Einstellung werden diese letztern bläulich; die röthlichen Farbensäume, die sie umschliessen, nehmen dann — zu je zweien verschmolzen — die Stelle der Erhabenheiten ein, so dass diese nun gerade so aussehen, wie bei höherer Einstellung die Vertiefungen. Welche Farbentöne bei einer gegebenen Einstellung alterniren, hängt natürlich mit von der Krümmung der Oberfläche ab.

Springen die Erhabenheiten sehr stark und in der Art vor, dass sie mit etwas verschmälter Basis aufsitzen, so kommt zu der eben erwähnten Erscheinung noch die durch Reflexion hervorgerufene hinzu, wie man sie bei kleinen Körperchen, Quecksilbertröpfchen etc. beobachtet, und wovon weiter unten ausführlicher die Rede sein wird. So z. B. bei manchen Spiral- und Ringgefässen, bei dendritischen Krystallanflügen (die wie Verdickungen des Objectträgers wirken), Diatomaceenpanzern etc. Bei allen diesen Objecten kommt es häufig vor, dass einzelne Fasern, auch wenn sie ganz isolirt sind, bei tieferer Einstellung röthlich erscheinen.

Die optische Wirkung der Erhabenheiten und Vertiefungen bleibt für das Mikroskop auch dann noch annähernd dieselbe, wenn die Wellenform



Figur 120.

der Grenzfläche in einen scharfwinkligen Zickzack (Fig. 120) übergeht; denn vorspringende Kanten geben immer reelle, einspringende virtuelle Bilder. Hieher gehörige Formen kommen indess in pflanzlichen Organismen nur selten vor;

dagegen beobachtet man sie öfter bei Krystallanflügen, z. B. an jenen Ketten von (unvollständigen) Kochsalzkrystallen, welche ungefähr das Bild eines Festungsplanes gewähren.

3. Membranen mit parallel-wellenförmigen Grenzflächen.

Eine wellig gefaltete Membran, wie sie in Fig. 121 im Durchschnitt 194 dargestellt ist, lässt sich in rinnenförmige Stücke von Hohlcylindern zerlegen, welche abwechselnd ihre convexe und concave Seite nach oben kehren. In der Figur ist diese Zerlegung durch gerade Linien, welche die Krümmungscentren verbinden, sowie durch verschiedene Schraffurung der Membranstücke veranschaulicht. Da nun der Hohlcylinder sich optisch wie eine Concavlinse verhält, so wirken auch solche Rinnen stets zerstreuernd auf das einfallende Licht. Und zwar fallen die beiden Hauptpunkte mit dem Krümmungscentrum zusammen, wenn das umgebende Medium Luft ist, rücken dagegen auseinander und nähern sich zugleich den brechenden Flächen, wenn das umgebende Medium Wasser oder eine andere Flüssigkeit ist. Hierüber und über die Grösse der Brennweiten giebt folgende Zusammenstellung einige berechnete Beispiele. Mit e und e' sind die Abstände der Hauptpunkte vom Krümmungscentrum, mit φ die Brennweite, mit r der Halbmesser der stärkern Krümmung und endlich mit n der absolute Brechungscoefficient bezeichnet. Als Maasseinheit ist der Radius der schwächern Krümmung (R) und als umgebendes Medium Wasser mit dem Index $\frac{4}{3}$ angenommen.



Figur 121.

r	n	e	e'	φ
$\frac{1}{2}$	4,55	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	6,75
	4,6	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$	4,5
$\frac{1}{10}$	4,5	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{40}$	0,75
	4,6	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{40}$	0,50

Die Hauptebenen der rinnenförmigen Membranstücke, von welchen die virtuellen Bilder gleich weit abstehen, liegen also nicht in demselben Niveau. Sie fallen z. B. unter den in Fig. 121 dargestellten Verhältnissen für die nach oben concaven Rinnen mit der Linie ab , für die damit alternirenden mit cd zusammen. Die virtuellen Bilder selbst liegen somit abwechselnd höher und tiefer, und da sie wie mikroskopisch kleine Lichtquellen wirken, so erklären sich hieraus die verschiedenen Farben, welche man bei höherer und tieferer Einstellung beobachtet. Wir wollen hier nur den einen Fall hervorheben, in welchem das Instrument auf eine Ebene eingestellt ist, die höher als die untern und tiefer als die obern virtuellen Bilder liegt. Letztere erscheinen alsdann bläulich, erstere röthlich.

4. Abwechselnd dichte und wasserreiche Schichten.

- 195** Wasserreiche Schichten, welche mit dichtern alterniren, wirken auf einer Durschnittsansicht wie verdünnte Stellen oder Spalten in einer homogenen Substanz. Die Wirkungen sind sogar, wie leicht einzusehen, vollkommen aequivalent, wenn das Brechungsverhältniss zwischen dichtern und weichern Schichten dasselbe ist, wie zwischen der homogenen Substanz und der die Spalte ausfüllenden Flüssigkeit. Das mikroskopische Bild, das wir beobachten, zeigt daher, ganz wie bei faserförmigen Verdickungen, abwechselnd bläuliche und röthliche Linien, welche den nicht genau in die Einstellungsebene fallenden virtuellen und reellen Bildern der Schichten entsprechen. Der Wechsel der Helligkeit, welcher durch Veränderung der Objectdistanz an bestimmten Bildpuncten hervorgerufen wird, sowie die Stärke der Schatten bieten dem geübtern Auge wichtige Anhaltspunkte, die vorkommenden Dichtigkeitsverschiedenheiten annähernd zu schätzen. Ob aber in einem gegebenen Falle wirkliche Spalten oder bloss wasserreichere Schichten vorhanden seien, das hienach ohne Weiteres zu unterscheiden, ist eine theoretische Unmöglichkeit.

5. Erhabenheiten und Vertiefungen im Gegensatze zu dichten und weichen Schichten.

- 196** Da die Erhabenheiten, wie bereits hervorgehoben, optisch genau so wirken, wie entsprechende Verdichtungen der Substanz, so ist die Entscheidung der Frage, ob eine feine Zeichnung, wie sie bei Diatomeen, an gestreiften Zellmembranen etc. vorkommt, auf Dichtigkeits- oder auf Formverhältnissen beruhe, durch die blosse Betrachtung der Gegenstände in Wasser nicht möglich. Es giebt indessen ein Mittel, welches in den meisten Fällen sicher zum Ziele führt. Bringt man nämlich das betreffende Object in ein Medium, welches das Licht stärker bricht, als die dichtesten Stellen des Objects, z. B. in Schwefelkohlenstoff, so bleibt die Zeichnung im Wesentlichen unverändert, wenn sie durch Dichtigkeitsverschiedenheiten bedingt wird; sie ändert dagegen ihren Charakter, wenn die Ursache in den Unebenheiten der Oberfläche liegt, und zwar dergestalt, dass das Verhältniss von Licht und Schatten sich umkehrt, wie auf der negativen photographischen Platte. Die Poren einer Membran sehen alsdann aus wie warzenförmige Erhabenheiten, faserförmige Verdickungen wie Spalten, und umgekehrt; man könnte das ganze Bild ebenfalls als negatives bezeichnen.

Die Erklärung dieser Erscheinungen liegt nahe. Ist das Object von ebenen Flächen begrenzt, so ist es auch der umgebende Schwefelkohlenstoff. Der letztere wirkt daher wie Glasplatten von entsprechender Dicke; er hebt die Objectpuncte, ohne ihre Bilder zu ändern. Finden sich dagegen

Vertiefungen oder Erhabenheiten auf der zu-, oder abgekehrten Seite des Objects, so bildet sich an der Berührungsfläche des umgebenden Mediums das entgegengesetzte Relief, und da das letztere dichter ist, so bedingt es die Lichtvertheilung im mikroskopischen Bilde. Das Object selbst verhält sich optisch wie ein Hohlraum von gleicher Form in einer brechenden Substanz.

Bei Anwendung dieses Verfahrens muss natürlich ein Austrocknen des Objects aufs Sorgfältigste vermieden werden. Weiche und dichte Schichten müssen von Wasser durchdrungen sein, weil sonst die letztern in Folge des stärkern Verlustes der wasserreichen Partieen nach aussen vorspringen und dadurch die optische Wirkung stören. Im vollkommen trockenen Zustande ist selbstverständlich keine Schichtung vorhanden.

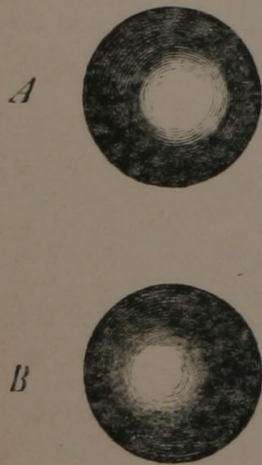
6. Das Sehen durch stereoskopische binoculäre Mikroskope.

Die merkwürdige Täuschung, welche stereoskopische Vorrichtungen 197 jeder Art hervorrufen, ist zum guten Theil eine rein psychische Erscheinung, die wir hier nicht weiter zu verfolgen haben. Wir stellen uns bloss die physikalische Frage, wie die zwei Bilder, welche das binoculäre Mikroskop den beiden Augen darbietet, sich von einander unterscheiden; ob sie in Hinsicht der Licht- und Schattenvertheilung in einem ähnlichen Verhältniss zu einander stehen, wie etwa die photographischen Aufnahmen der käuflichen Stereoskope. Ist das letztere wirklich der Fall, so reiht sich die in Frage stehende Wahrnehmung andern bekannten Erscheinungen an, und wir können die weitem Betrachtungen darüber der Physiologie überlassen.

Wenn wir uns die dioptrische oder katoptrische Spaltung der Strahlenbündel noch einmal vergegenwärtigen (vgl. Fig. 44—46), so leuchtet sogleich ein, dass dem einen Auge ein Bild geboten wird, welches von der rechten, dem andern ein solches, welches von der linken Hälfte des Objectivs entworfen ist. Und zwar liegen die bilderzeugenden Objectivhälften bei der dioptrischen Spaltung stets auf der nämlichen Seite der Medianebene, wie das beobachtende Auge, bei der katoptrischen unter Umständen, wenn z. B. gleichseitige Prismen nach Nachet in Anwendung kommen, auf der entgegengesetzten. Je nachdem das eine oder das andere der Fall ist, muss natürlich auch der Eindruck, den die Verschmelzung der beiden Bilder im Bewusstsein hervorruft, ein verschiedener sein.

In welcher Weise nun aber die von der rechten und linken Objectivhälfte entworfenen Bilder differiren, lässt sich im Allgemeinen sowohl durch Rechnung, als auf experimentellem Wege mit dem gewöhnlichen Mikroskop entscheiden, indem man nach einander die eine und andere Hälfte des Objectivs zudeckt. Es sei z. B. ein kugelförmiges Stärkekorn oder ein Oeltropfen als Object gegeben, dann wird der Randschatten, welcher

im gewöhnlichen Bilde bei gerader Beleuchtung überall gleich breit erscheint, durch Ausschliessung der einen Objectivhälfte auf der entsprechenden Seite vorwiegend, so zwar, dass die Lichtstelle im Bilde mit dem wirksamen Theil der Linsen auf der nämlichen Seite der Medianebene liegt. Dieselbe Erscheinung muss ganz allgemein bei jedem Gegenstande eintreten,



Figur 422.

welcher gleich den erwähnten wie eine Sammellinse wirkt. Ist dagegen das Object eine Luftblase oder ein Hohlraum, überhaupt ein Gegenstand, der sich wie eine Zerstreuungslinse verhält, so bewegt sich die Lichtstelle unter gleichen Voraussetzungen zwar ebenfalls seitwärts, aber in entgegengesetzter Richtung. Die zwei Bilder, welche das binoculäre Mikroskop entwirft, zeigen also in beiden Fällen eine Licht- und Schattenvertheilung, wie sie in A und B (Fig. 422) dargestellt ist. Welches von beiden dem rechten, welches dem linken Auge dargeboten wird, hängt bei gegebenem Object von der optischen Einrichtung ab, welche die Spaltung der Strahlenbündel bewirkt. Die Gruppierung von A und

B mit Rücksicht auf Rechts und Links bedingt aber offenbar den stereoskopischen Effect *).

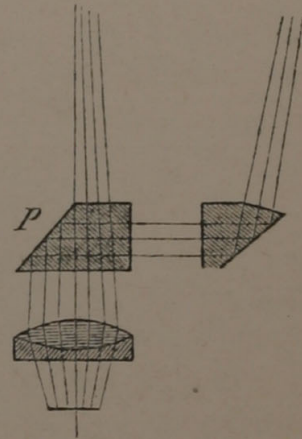
- 198 Gehen wir z. B. von einer Combination aus, welche die Erhöhungen und Vertiefungen als solche darstellt, wie es bei den binoculären stereoskopischen Mikroskopen Nachet's thatsächlich der Fall ist, so liegt der Schluss nahe, dass andere Mikroskope dieser Art, durch welche die Bilder in permutirter Anordnung gesehen werden (BA statt AB), den entgegengesetzten Eindruck hervorrufen, folglich die Erhabenheiten als Vertiefungen zeigen und umgekehrt. Diese pseudoskopische Erscheinung wurde auch in der That, wie uns Harting berichtet, schon im Jahr 1853 sowohl von Riddell bei seinem katoptrischen, als von Wenhams bei seinem dioptrischen binoculären Mikroskop beobachtet **). Seitdem sind die Umstände, welche die Pseudoskopie herbeiführen, sowie die Mittel zur Beseitigung derselben allgemein bekannt geworden; man darf indessen nie vergessen, dass manche Objecte für solche Beobachtungen durchaus ungeeignet sind, da sie unter allen Umständen bizarre Bilder liefern.

Unter den Vorrichtungen, welche das richtige stereoskopische Bild nach Belieben in ein pseudoskopisches umzuwandeln gestatten, zeichnet sich insbesondere die von Nachet erfundene durch Einfachheit und Bequemlichkeit aus. Nachet verfertigt nämlich seit einigen Jahren stereoskopische Mikroskope mit verschiebbarem Prisma, wodurch das Wechseln der Bilder

*) Dabei ist nicht zu vergessen, dass eine halbe Umkehrung durch einmalige Reflexion denselben Effect hervorbringt, wie das Wechseln der Bilder.

**) Harting, Das Mikr., 1. Aufl., p. 493 und 775; 2. Aufl. I, p. 199. III, p. 240.

sich mittelst eines leichten Handgriffes bewerkstelligen lässt. Zu diesem Behufe dient als Prisma eine planplane Glasplatte *P* (Fig. 123), welche über dem Objectiv unter 45° dachförmig gegen den Horizont abfällt, so zwar, dass die Horizontalprojection der schiefen Fläche die Hälfte der Objectivöffnung deckt. Je nachdem man nun die schiefe Kante des Prismas von der Seite her bloss bis zur Mitte des Objectivs oder aber über die Mitte hinaus bis zum Rande vorschiebt, sieht das nämliche Auge das von der rechten oder aber das von der linken Objectivhälfte entworfene Bild. Durch die Verschiebung verändert sich also auch, sofern das Object für dergleichen Beobachtungen geeignet ist, der stereoskopische Effect: was im einen Fall wie eine Erhöhung aussah, stellt sich im andern als Vertiefung dar. *) Diese Einrichtung wird insbesondere zur Herstellung stereoskopischer Bilder auf mikrophotographischem Wege empfohlen, weil sie es möglich macht, ein und dasselbe Rohr, ohne Veränderung der Einstellung, zur Aufnahme der beiden Bilder zu benutzen.



Figur 123.

In wie weit die Tiefe des Gesichtsfeldes den stereoskopischen Effect modificirt, lassen wir dahingestellt. Ohne vergleichende Beobachtungen an Objecten mit oder ohne Tiefe (z. B. Photographien auf Glas u. dgl.) lässt sich hierüber kaum etwas Sicheres sagen. Harting hatte in der ersten Auflage seines bekannten Werkes die Ansicht aufgestellt, dass der genannte Factor bei der stereoskopischen Wahrnehmung ganz besonders in Betracht komme, womit wir uns begreiflicher Weise nicht einverstanden erklären konnten. In der zweiten Auflage wird dagegen bloss gesagt, dass »bei Beurtheilung der Leistungen des binoculären Mikroskops« auch die Tiefe des Gesichtsfeldes in Betracht komme (l. c. I, p. 243). Bewiesen wird aber auch das nicht, sondern bloss gezeigt, dass das Gesichtsfeld eine gewisse Tiefe besitzt, was Niemand bezweifelt hat. Soviel ist jedenfalls sicher, dass der fragliche Einfluss von untergeordneter Bedeutung und zur Ergänzung des stereoskopischen Effectes auf keinen Fall nothwendig ist. Denn wie bei den käuflichen Stereoskopen zwei flächenhafte Ansichten zu einem stereoskopischen Bilde vereinigt werden, so müssen auch die Bilder des binoculären Mikroskops den Eindruck der Körperlichkeit hervorrufen, selbst wenn die Tiefe des Gesichtsfeldes Null wäre. **)

*) Zahlreiche Beispiele hiefür liefert Valentin (Archiv f. mikrosk. Anat. VI, p. 381 (1870)). Dieselben gehören jedoch mehr in die Lehre von der Stereoskopie, als in die Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung. Der »grossen Zukunft«, welche Valentin dem binoculären Mikroskop speziell für die genauere Untersuchung der Krystalle prophezeit, sehen wir einstweilen sehr kühl entgegen.

**) Auch Helmholtz (Handb. d. physiol. Optik, p. 682) erklärt das Zustandekommen des stereoskopischen Effectes durch die Lage der Zerstreuungskreise, welche

Dass die Verschiedenheiten in der Licht- und Schattenvertheilung für den stereoskopischen Effect maassgebend sind, beweist auch das oben erwähnte mikrophotographische Verfahren, namentlich aber die Anwendung der sogenannten stereoskopischen Wippe. Statt nach einander die rechte und linke Hälfte des Objectivs wirken zu lassen, um das Object gleichsam von verschiedenen Standpuncten aus aufzunehmen, giebt man dem Objectträger einfach eine entsprechende Neigung nach rechts und nach links, so dass das Object nun ebenfalls unter verschiedenem Winkel gesehen erscheint. Die Drehung geschieht zwischen beiden Aufnahmen und ohne Veränderung der Einstellung.*) Der Winkel, um welchen gedreht wird, beträgt bei schwachen Vergrösserungen bis zu 42° , bei mittelstarken c. 7 bis 8° und bei starken (z. B. für Objectiv Nr. 5 von Nachet) c. 4 bis 5° .

Endlich wollen wir noch auf einen Punct aufmerksam machen, der bisher, wie es scheint, ganz übersehen wurde. Erhabenheiten und Vertiefungen lassen sich bei durchfallendem Lichte stets durch Dichtigkeitsdifferenzen ersetzen, welche genau dieselbe optische Wirkung hervorbringen. Denken wir uns also eine Membran von durchweg gleichmässiger Dicke, aber mit dichtern und weichern Stellen, so müssen die erstern im stereoskopischen Bilde convex, die letztern concav erscheinen und folglich eine Täuschung hervorrufen, welche den combinirenden Verstand irre leitet. Aus diesem Grunde halten wir es unter allen Umständen für gerathener, wissenschaftliche Untersuchungen mit dem gewöhnlichen monoculären Mikroskop anzustellen.

III.

Interferenzerscheinungen.

A. Im Mikroskop.

1. Abbildung feiner Structuren der Objecte durch Interferenz.

199 Nach den mehrfach erwähnten Untersuchungen Abbe's**) kommt das mikroskopische Bild des Objects durch die Superposition zweier Bilder zu Stande, von denen das eine, das vorzugsweise die Contouren enthält, auf dem gewöhnlichen dioptrischen Wege erzeugt wird, während das andere,

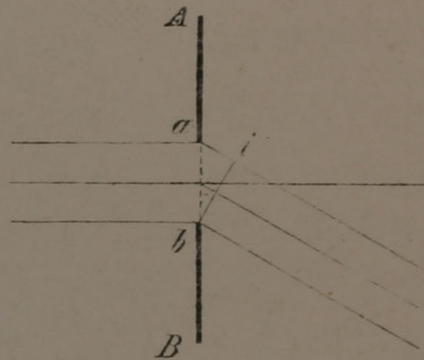
die vor oder hinter der Einstellungsebene liegenden Puncte des Objectes verursachen, wonach also ebenfalls eine gewisse Tiefe des Gesichtsfeldes wesentliche Bedingung wäre. Allein Helmholtz übersieht ganz, dass die von den beiden Objectivhälften entworfenen Bilder auch ohne die gedachten Zerstreuungskreise wirklich verschieden sind und darum für sich allein eine stereoskopische Wirkung hervorbringen müssen.

*) Vergl. hierüber Be necke, die Photographie als Hilfsmittel mikroskopischer Forschung. Braunschweig 1868.

**) Archiv f. mikrosk. Anat. IX, p. 413.

welches die feinen körperlichen Structuren wiedergibt, von den im Object abgebeugten und im Mikroskop interferirenden Lichtbündeln herrührt. Es ist nun hier der Ort, das Zustandekommen dieses Interferenzbildes zu erläutern und die Bedingungen festzustellen, an welche die Unterscheidbarkeit feiner Details im Objecte geknüpft ist.

Die Lehre von der Diffraction oder Beugung des Lichtes weist bekanntlich eine charakteristische Veränderung nach, welche das Licht beim Hindurchgehen durch Objecte mit feinen körperlichen Structuren erleidet. Im Allgemeinen besteht diese Veränderung darin, dass jedes einfallende parallelstrahlige Lichtbündel in eine divergirende Strahlengruppe mit grosser Winkelausbreitung aufgelöst wird, wobei eine regelmässige Ab- und Zunahme der Intensität sich als nothwendige Folge der Phasendifferenz herausstellt. Ist z. B. AB (Fig. 124) ein Object mit abwechselnd durchsichtigen und undurchsichtigen Streifen, wovon in der Figur ein durchsichtiger ab und die benachbarten undurchsichtigen Aa und bB dargestellt sind, so setzen die von der linken Seite rechtwinklig einfallenden Strahlen nach ihrem Durchgange durch ab ihren Weg nur zum Theil geradlinig fort; ein anderer Theil wird abgebeugt und bildet divergirende Lichtbüschel, welche einen gewissen Winkelraum vollständig ausfüllen.



Figur 124.

In unserer Figur ist eines dieser Lichtbündel mit einer Abweichung von $\alpha = 30^\circ$ von der Richtung der einfallenden Strahlen dargestellt. Angenommen nun, die Breite des durchsichtigen Streifens ab sei = 1 Mik. und die Wellenlänge des einfallenden, homogen gedachten Lichtes = 0,5 Mik., so ergibt sich für die Grösse ai das Verhältniss:

$$ai : ab = \sin 30^\circ : r,$$

folglich $ai = \frac{\sin 30^\circ}{r} \cdot ab = 0,5 \text{ Mik.} = 1 \text{ Wellenlänge.}$

Zerlegen wir also das abgebeugte Lichtbündel in zwei gleiche Hälften, indem wir von der Mitte der Oeffnung eine Linie parallel den beiden Randlinien ziehen, so leuchtet sofort ein, dass jeder Strahl der einen Hälfte gegenüber dem correspondirenden der andern Hälfte um eine halbe Wellenlänge verschoben erscheint. Das Zusammenwirken der beiden Hälften muss also nothwendig Dunkelheit geben, wenn die sämmtlichen Strahlen durch geeignete Brechungen vereinigt werden. Stellen wir beispielsweise das Objectiv eines Mikroskops auf das gegebene Object ein, so muss nothwendig an der Stelle in der Focalebene, wo die Strahlen des abgebeugten Lichtbündels sich vereinigen, ein dunkler Streifen erscheinen. Es ist diess der erste dunkle Streifen, welcher neben der Lichtlinie, die die einfallenden Strahlen im Focus des Objectivs erzeugen, zu Stande kommt. Sind

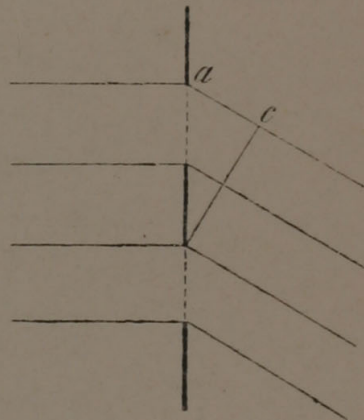
setzt. Weitere Beugungsbüschel können unter den gegebenen Bedingungen nicht aufgenommen werden.*)

Lässt man statt eines einzigen durchsichtigen Streifens deren mehrere zur Wirkung kommen, so wird zunächst der geschilderte Effect bloss verstärkt, weil die sämtlichen gleichgeneigten Beugungsbüschel sich nothwendig im nämlichen Punct q der Focalebene kreuzen und sich folglich in ihren Wirkungen addiren. Hiebei würde es auch sein Bewenden haben, wenn wir voraussetzen könnten, diese Lichtbündel rufen unter sich keine neuen Interferenzen hervor. In Wirklichkeit ist das nun aber nicht der Fall. Die Beugungsbüschel, welche von benachbarten Streifen ausgehen, sind keineswegs ohne Einfluss auf einander. Zu den oben erwähnten Diffractionslinien in der Focalebene kommen im Gegentheil neue Linien hinzu, welche durch Interferenz benachbarter Bündel unter sich entstehen. Die ausführliche Erklärung der hieher gehörigen Erscheinungen, zumal für eine beliebig grosse Zahl von Durchgangsöffnungen, würde jedoch an dieser Stelle zu weit führen; wir verweisen in diesem Betreff auf die physikalischen Lehrbücher**) oder auf die ausführliche Darlegung von Schwerd***) und beschränken uns hier auf die Zusammenfassung der bezüglichen Thatsachen.

Angenommen, die Zahl der durchsichtigen Streifen sei beliebig gross und ihr gegenseitiger Abstand, von Mitte zu Mitte gemessen, $= d$, dann ergeben die seitlich abgelenkten Strahlenbündel Maxima der Helligkeit für alle Neigungen, bei welchen der Wegunterschied ac (Fig. 126) gleich einer Wellenlänge oder einem Vielfachen derselben. Die hellen Interferenzlinien (Spectra zweiter Classe) treten also in den Puncten auf, für welche

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{d}, \frac{2\lambda}{d}, \frac{3\lambda}{d}, \frac{4\lambda}{d} \text{ etc.},$$

wobei λ wiederum die Wellenlänge und α den Beugungswinkel bezeichnet. Die Rechnung ergiebt hienach bei einer Wellenlänge $\lambda = 0,5$ Mik. als zusammengehörige Werthe von α und d die folgenden Ziffern.



Figur 126.

*) Bezeichnet man mit λ die Wellenlänge und mit b die Breite der Oeffnung, so geben die abgebeugten Strahlen, welche von einer einzigen Oeffnung ausgehen, helle Interferenzlinien für die Neigungswinkel, deren Sinus $= \frac{3}{2} \cdot \frac{\lambda}{b}, \frac{5}{2} \cdot \frac{\lambda}{b}, \frac{7}{2} \cdot \frac{\lambda}{b} \dots$

Diese Sinus verhalten sich also wie die ungeraden Zahlen 3, 5, 7, 9 etc.

**) Vgl. z. B. Wüllner, Lehrb. der Physik, 2. Aufl. In der ersten Auflage ist dieser Punct unrichtig dargestellt. Ferner: Verdet, Leçons d'optique physique. 2 vol. Paris. Ein vortreffliches Buch.

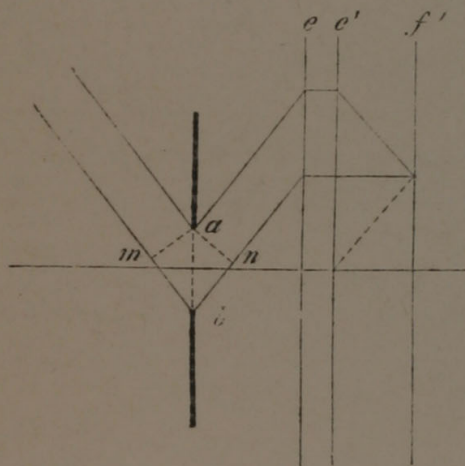
***) Schwerd, Die Beugungerscheinungen, Mannheim 1835. Vgl. namentlich § 148 ff., ferner § 195 ff., sowie die daselbst citirten Abbildungen.

Werthe von d in Mik.	$\sin \alpha$, wenn $\lambda = 0,5$ Mik.	Winkelwerthe von α
0,5	1	90°
1	$\frac{1}{2}$, 1	30° , 90°
1,5	$\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, 1	$49^\circ 28'$, $41^\circ 46'$, 90°
2	$\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, 1	$14^\circ 30'$, 30° , $48^\circ 35'$, 90°
3	$\frac{1}{6}$, $\frac{2}{6}$, $\frac{3}{6}$, $\frac{4}{6}$, $\frac{5}{6}$, 1	$9^\circ 35'$, $19^\circ 28'$, 30° , $41^\circ 46'$, $56^\circ 26'$, 90°
5	$\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$, $\frac{4}{10}$, $\frac{5}{10}$...	$5^\circ 44'$, $11^\circ 32'$, $17^\circ 27'$, $23^\circ 35'$, 30° ...
10	$\frac{1}{20}$, $\frac{2}{20}$, $\frac{3}{20}$, $\frac{4}{20}$, $\frac{5}{20}$...	$2^\circ 52'$, $5^\circ 44'$, $8^\circ 38'$, $11^\circ 32'$, $14^\circ 30'$...

Für $d = \lambda$ wird somit α unter allen Umständen $= 90^\circ$. Daraus ergibt sich, dass bei gerader Beleuchtung kein Objectiv auch nur den ersten bild-erzeugenden Beugungsbüschel aufzunehmen vermag, wenn der gegen-
seitige Abstand der Durchgangsöffnungen unter eine ganze Wellenlänge
 $= 0,5$ Mik. herunterfällt.

201

Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn die einfallenden Strahlen



Figur 127.

schief gegen die Axe gestellt sind (Fig. 127). Alsdann kommt zu dem Phasenunterschied bn der abgebeugten Strahlen noch derjenige der einfallenden mb hinzu. Ist also α der Neigungs-
winkel der abgebeugten Strahlen, δ derjenige der einfallenden, so ist der Phasenunterschied im Querschnitt an
gleich $\frac{\sin \alpha + \sin \delta}{ab}$. Die resultirenden

Effecte lassen sich hieraus ableiten. Wir wollen uns indessen auf den Fall beschrän-
ken, wo $\alpha = \delta$, folglich $\sin \alpha + \sin \delta = 2 \sin \alpha$, und auch hier nur den ersten

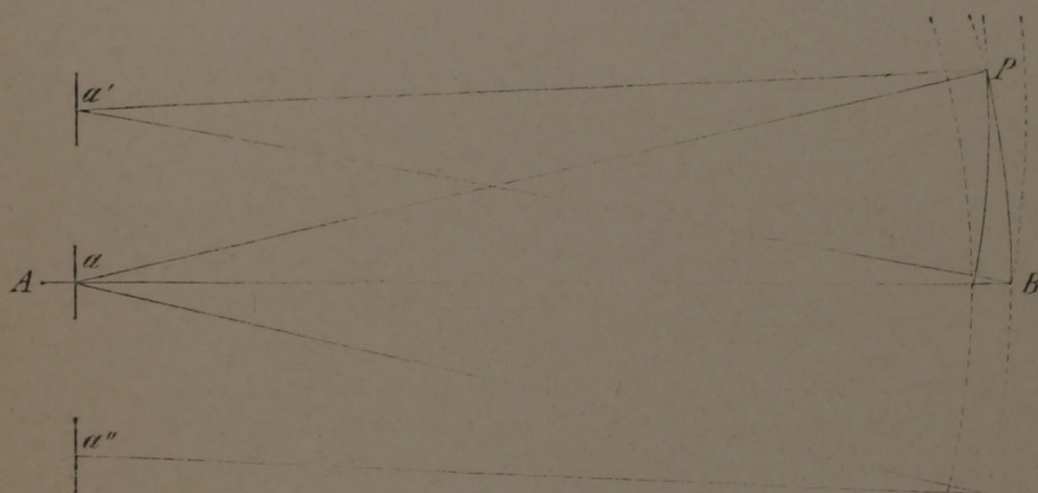
Beugungsbüschel speziell berücksichtigen. Die oben aufgestellte Bedingung
für die hellen Linien bei beliebig vielen Oeffnungen, wonach $\sin \alpha = \frac{\lambda}{d}$, $\frac{2\lambda}{d}$,
 $\frac{3\lambda}{d}$..., geht alsdann über in $2 \sin \alpha = \frac{\lambda}{d}$, $\frac{2\lambda}{d}$, $\frac{3\lambda}{d}$..., woraus $\sin \alpha$ für
die erste helle Linie $= \frac{\lambda}{2d}$ (statt wie oben $\frac{\lambda}{d}$). Bei geeigneter schiefer Be-
leuchtung können folglich durch die entsprechenden Beugungsbüschel noch
Streifen zur Geltung gebracht werden, deren Abstand nur die Hälfte des-
jenigen beträgt, welcher bei geradem Licht die Grenze der Nachweisbarkeit
erreicht. Für die äussersten Grenzfälle, wo α und δ je gleich 90° und somit
 $\frac{\lambda}{2d} = 1$, ergibt sich demnach als Minimum des Abstandes d eine halbe
Wellenlänge.

Für die weitere Betrachtung der Beugungseffecte ist es nun zweckmässig, die bis dahin gewonnenen Resultate noch in etwas abweichender Form auszudrücken. Wir haben im Vorhergehenden die einfallenden Lichtbündel parallelstrahlig angenommen. Halten wir an dieser Bedingung fest, indem wir die wirksame Lichtquelle mittelst einer kleinen Blendung möglichst verschmälern. Die directen Strahlen erzeugen alsdann im Focus des Objectivs ein dioptrisches Bild der Lichtquelle, d. h. der kleinen Blendungsöffnung. Man kann dasselbe direct beobachten, indem man nach Wegnahme des Oculars in den offenen Tubus blickt. Aber auch die abgebeugten Strahlen, welche mit der optischen Axe den Winkel α bilden, erzeugen in q und q' (Fig. 125), wie überhaupt in allen Punkten, wo die Interferenz Hell giebt, ähnliche Bildchen, welche bei Anwendung von homogenem Licht in Form und Grösse mit dem direct erzeugten übereinstimmen. Ein beliebiges Object, das zwischen Spiegel und Blendung hin und her bewegt wird, kommt auch in diesen Beugungsbildchen deutlich zum Vorschein. In weissem Licht ist freilich der Effect insofern ein wesentlich anderer, als die Diffractionsbilder nun farbig erscheinen, weil bekanntlich die Lage der Helligkeitsmaxima von der Wellenlänge abhängt. Eine kreisförmige Blendungsöffnung erscheint also im Diffractionsbild, wie es in der Focalebene des Objectivs zu Stande kommt, radial in die Länge gezogen, aussen roth und innen blau. Wir wollen indess diese Complication hier nur beiläufig erwähnen, weil sie bei gewöhnlicher Beleuchtung sofort in die Augen fällt, im Uebrigen aber die Bedingung homogenen Lichtes auch im Folgenden beibehalten. Ebenso betrachten wir die einfallenden Strahlen als streng parallel, obschon die erwähnten Diffractionsbilder auch bei gewöhnlicher (nicht parallelstrahliger) Beleuchtung deutlich wahrnehmbar sind.

Zur Demonstration der in Rede stehenden Beugungsphänomene eignen sich am besten einfach gestreifte Objecte, wie z. B. die kleinen Schuppen von *Lepisma saccharinum*. Man stelle das Mikroskop auf eine solche Schuppe ein, schiebe eine kleine Blendung vor, entferne dann das Ocular und betrachte nun den Lichteffect in der obern Focalebene des Objectivs. Man erblickt alsdann das directe Bild der Blendung und zu beiden Seiten desselben in einer zur Streifung des Objects rechtwinkligen Linie die farbigten Beugungsbilder in symmetrischer Anordnung. Beträgt der Oeffnungswinkel des Objectivs $= 60^\circ$, so erzeugen die grössern Schuppen mehrere Paare von Beugungsbildern; die kleinern sind dagegen so fein gestreift, dass nur die beiden nächstliegenden in die Oeffnung des Objectivs fallen.

Wir kommen jetzt zu unserer eigentlichen Aufgabe, welche darin besteht, den Effect dieser Beugungserscheinungen in der Ebene des reellen Objectivbildes festzustellen. Diese Aufgabe lässt sich am einfachsten so behandeln, dass man die Oeffnungsbildchen in der obern Focalebene, das

directe sowohl wie die durch Beugung entstandenen, als eben so viele (secundäre) Lichtquellen betrachtet, deren Strahlen in ähnlicher Weise interferiren, wie beim Fresnel'schen Spiegelversuch. Denn da diese Lichtquellen Punkt für Punkt die optischen Bilder der nämlichen primären Lichtquelle sind, so besteht zwischen denselben kein Phasenunterschied. Sei also AB (Fig. 128) die optische Axe, a das directe Bildchen der Blendungsöffnung und a' das nächstliegende Beugungsbild. Zieht man jetzt von correspondirenden Punkten dieser beiden Lichtquellen, z. B. von der Mitte



Figur 128.

aus, je einen Kreisbogen durch B , wo wir uns die Ebene des reellen Bildes denken, und einen damit parallelen, welcher um eine Wellenlänge vom vorhergehenden absteht, so bezeichnet der Kreuzungspunkt P die Stelle, wo die erste helle Diffractionslinie zu Stande kommt; denn offenbar ist hier aP um eine ganze Wellenlänge grösser als $a'P$ und folglich die Wirkung der Interferenz ein Maximum der Helligkeit. Zur Bestimmung des Abstandes PB dürfen wir die beiden sich kreuzenden Kreisbogenstücke als gerade Linien betrachten, von denen die eine auf aB , die andere auf $a'B$ rechtwinklig steht. Das kleine Dreieck, dessen Spitze in P liegt und dessen Basis gleich einer ganzen Wellenlänge oder $= \lambda$, ist folglich dem Dreieck $aa'B$ ähnlich und man hat

$$BP : \lambda = aB : aa' ,$$

woraus

$$BP = \frac{aB \cdot \lambda}{aa'} .$$

Nun ist aB gleich der hintern Vereinigungsweite p^* , weniger die Brennweite f , also $p^* - f$. Ebenso ist der Abstand aa' zwischen den correspondirenden Punkten der Oeffnungsbilder nach Früherem gegeben durch $\sin \alpha \cdot f$. Da nun $\sin \alpha$ für das erste Beugungsbüschel $= \frac{\lambda}{d}$, wenn d den Abstand der Streifen im Object bezeichnet, so geht obige Formel über in

$$BP = \frac{(p^* - f) \cdot \lambda}{\frac{\lambda}{d} \cdot f} = \frac{p^* - f}{f} \cdot d$$

oder da

$$\frac{p^* - f}{f} \text{ gleich der Vergrößerungszahl } m :$$

$$BP = m d ,$$

d. h. der Abstand der Interferenzlinien im reellen Objectivbilde ist m Mal grösser, als der Abstand der hellen Streifen im Object. Damit ist zugleich gesagt, dass die Zahl der Interferenzlinien mit derjenigen der Streifen übereinstimmt.

Dieselbe Wirkung bringt natürlich auch das in a'' befindliche Diffractionsbild, wenn es mit dem directen combinirt wird, hervor. Blendet man dagegen das directe Bild ab und lässt (im dunkeln Gesichtsfeld) die beiden Beugungsbilder interferiren, so wird in obiger Formel der Nenner aa' doppelt so gross, der Abstand der Linien folglich auf die Hälfte reducirt. Ebenso kann, sofern noch weitere Beugungsbilder wirksam sind, durch passendes Abblenden eine Reduction auf $1/3$, $1/4$... des der Wirklichkeit entsprechenden Abstandes erzielt werden. Die Streifung erscheint also unter diesen Umständen in drei- bis viermal grösserer Feinheit, als in einem naturwahren Bilde. Es unterliegt überhaupt keiner Schwierigkeit, den Beugungseffect zum Voraus festzustellen, sobald die wirksamen Diffractionsbildchen in der Focalebene des Objectivs nach Zahl und Anordnung bekannt sind.

Die Methode des Abblendens der Oeffnungsbilder in der obern Focal- **204**
ebene des Objectivs, deren Anwendung für das Studium der Beugungsphänomene nicht genug empfohlen werden kann, liefert nebenbei alle nur wünschbaren Belege für das Zustandekommen des Structurbildes durch Interferenz. Sobald man nämlich die durch Beugung entstandenen Oeffnungsbilder abblendet, so dass beim Hinabsehen in den Tubus bloss noch das directe Bildchen wahrnehmbar ist, erscheint das mikroskopische Bild des Objects vollständig inhaltlos; alle feinere Zeichnung ist verschwunden, als ob das Instrument mit einem Mal seine ganze optische Kraft eingebüsst hätte. Lässt man jetzt eines der Beugungsbildchen als zweite Lichtquelle zur Geltung kommen, so treten in der Richtung, welche zur Verbindungslinie der zwei wirksamen Lichtquellen rechtwinklig steht, die Streifungen sofort deutlich hervor, während sie in den zur Verbindungslinie parallelen Richtungen sich nach wie vor der Wahrnehmung entziehen. Wählt man z. B. als Object *Pleurosigma attenuatum* und betrachtet dasselbe durch ein Objectiv von c. 3^{mm} Brennweite und c. 90° Oeffnung, so erblickt man in der obern Focalebene desselben ausser dem directen Oeffnungsbild noch 4 durch Beugung entstandene, von denen je 2 diametral opponirte einem Streifensystem entsprechen. Je nachdem man nun das eine oder das andere Paar abblendet, verschwinden im Bilde die Querstreifen oder die

Längsstreifen, und wenn alle vier Beugungsbilder ausser Wirkung gesetzt werden, so ist von Streifung absolut nichts mehr zu sehen.

205 Wir haben im Vorhergehenden, der Einfachheit wegen, durchgehends homogenes Licht vorausgesetzt und die Wellenlänge zu 0,5 Mik. angenommen. In der Regel wirken nun aber die verschiedenfarbigen Strahlen zusammen, und da die Abstände der Linien im Beugungsbilde über dem Objectiv den Wellenlängen proportional sind, so erscheinen daselbst die verschiedenfarbigen Bilder seitlich gegen einander verschoben und bilden ein förmliches Spectrum, in welchem bei günstiger Beleuchtung sogar einzelne Fraunhofer'sche Linien hervortreten. Da jedoch andererseits sämtliche Beugungsbüschel, welche vom nämlichen Flächenelement des Objects ausgehen, sich in der Ebene des Objectivbildes — sofern die sphärischen und die chromatischen Aberrationen vernachlässigt werden dürfen — nichtsdestoweniger im nämlichen Punkte kreuzen, so erzeugen sie hier ein farbenfreies und dabei hinlänglich scharfes Interferenzbild. Die Grenze der Unterscheidbarkeit wird also im Allgemeinen, gerade weil sämtliche Farben bei der Bilderzeugung betheiligt sind, nach den Strahlen mittlerer Brechbarkeit, deren Wellenlänge thatsächlich ungefähr 0,5 Mik. beträgt, zu bestimmen sein. In besondern Fällen mag es aber doch vorkommen, dass Strahlen von stärkerer Brechbarkeit, z. B. grüne oder blaue, die maassgebenden sind, und bei mikrophotographischen Aufnahmen gelangen bekanntlich Wellenlängen zur Geltung, welche für unser Auge keine sichtbaren Wirkungen haben. Es ist daher nicht ohne Interesse, die Wellenlängen der verschiedenen Strahlen und die daraus abzuleitenden Grenzen der Unterscheidbarkeit zusammenzustellen. Wie oben gezeigt wurde, entsprechen die fraglichen Grenzwerte bei extrem schiefer Beleuchtung, wie wir sie voraussetzen, einer halben Wellenlänge.

	Wellenlänge in Mik.	Unterscheidungsgrenze in Mik.
Roth	0,68	0,34
Gelb	0,58	0,29
Grün	0,52	0,26
Blau	0,43	0,22
Violett	0,39	0,20
Linie <i>M</i>	0,37	0,19
Linie <i>N</i>	0,36	0,18

Die auf die Linien *M* und *N* bezüglichen Ziffern sind den Mittheilungen Draper's*) entnommen. Mit diesen brechbarsten Strahlen fallen nun die sogenannten chemischen annähernd zusammen. Bei photographischen Auf-

*) Poggendorff, Ann. CLI (1874), p. 337.

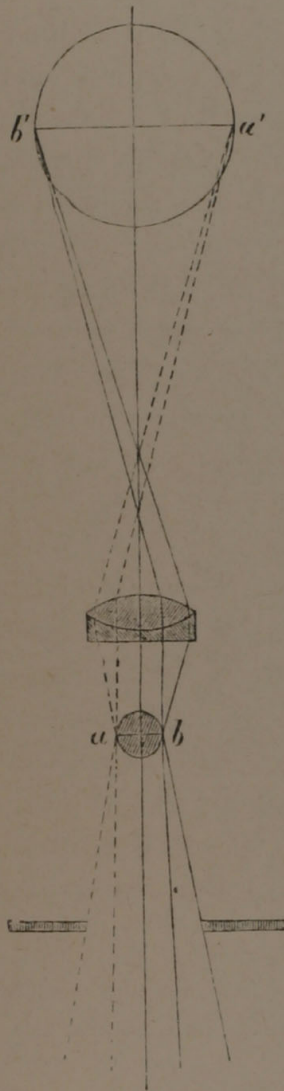
nahmen stellen sich hienach die Bedingungen ungefähr so, wie sie bei directem Sehen durchs Mikroskop eine im Verhältniss von 2 zu 3 gröbere Structur bieten würde.

Der Nachweis, dass die Abbildung feiner Structuren nicht auf dioptri- **206**
schem Wege, sondern durch Interferenz abgelenkter Strahlen vermittelt wird, ist für die Deutung des mikroskopischen Bildes von grosser Tragweite. Denn während ein dioptrisches Bild, wie es durch homofocale Strahlenbündel erzeugt wird, dem in der Einstellungsebene befindlichen Object Punct für Punct ähnlich ist und desshalb bei richtiger stereometrischer Deutung des flächenhaft Geschehen einen durchaus sichern Rückschluss auf die Beschaffenheit des Objects gestattet, stehen die unter Mitwirkung des Beugungsvorganges entstandenen Interferenzbilder in keinem constanten Zusammenhang mit der Natur des entsprechenden Objects. Punctreihen liefern z. B. dasselbe Bild wie wirkliche Streifungen, und wo zwei solcher Streifensysteme sich ungefähr rechtwinklig kreuzen, erscheinen im Beugungsbilde zwei weitere Streifungen in der Richtung der Diagonalen. Linien, die in gleichem Niveau liegen, werden häufig bei verschiedener Einstellung sichtbar und umgekehrt. Ja es kann vorkommen, dass ein einfaches Streifensystem in doppelter oder dreifacher Feinheit abgebildet wird, u. s. w. Alle diese Erscheinungen lassen sich zum Voraus auf theoretischer Basis construiren; sie gehören in das bekannte Gebiet der durch Gitter bedingten Beugungsphänomene, worüber in jedem physikalischen Lehrbuch das zur Orientirung Nöthige mitgetheilt ist. Damit ist aber gesagt, dass die im mikroskopischen Bilde wahrnehmbare Structurzeichnung der Beschaffenheit des Objects höchstens zufällig conform, in der Regel aber nicht conform ist. Selbstverständlich muss unter diesen Umständen jeder Versuch, den Bau fein organisirter Objecte, wie z. B. der Diatomeenschaalen, durch blosse Betrachtung ihrer mikroskopischen Bilder zu ermitteln, als völlig verfehlt bezeichnet werden.

Anmerkung. Im Vorhergehenden wurde die Ablenkung der Strahlen, welche durch feine Structuren bedingt wird, in gewohnter Weise als Diffraction derselben aufgefasst, wie diess auch bei Abbe der Fall ist. Es verdient jedoch bemerkt zu werden, dass eine aus durchweg homogener, d. h. überall gleich durchsichtiger Substanz bestehende Membran, wenn sie feine streifenförmige Verdickungen besitzt, die nämlichen Interferenzbilder erzeugt, wie ein wirkliches Gitter, obschon bei einer solchen Membran bloss Brechung, nicht Beugung der Strahlen stattfindet. Dasselbe gilt auch für die Streifungen, welche durch abwechselnd grössern und kleinern Wassergehalt zu Stande kommen. Jeder nach aussen hervorragende oder optisch dichtere Streifen wirkt nämlich wie eine Cylinderlinse; er entwirft ein reelles Bildchen der Lichtquelle, das sich gegenüber dem Objectiv wie eine selbstleuchtende Linie oder Spalte verhält: Solche Objecte kommen bei Diatomeen, Schmetterlingsschuppen, Zellmembranen etc. häufig vor.

2. Reflexion des Lichtes an kleinen Kügelchen, Körnchen, feinen Fäden etc. und dadurch bedingte Interferenzerscheinungen.

207 Ist ab (Fig. 129) ein kleines Quecksilberkügelchen, beispielsweise von 20 Mik. Durchmesser, so erscheint dasselbe bei mittlerer Einstellung, wenn wir die Spiegelung des Objectivs unberücksichtigt lassen, als schwarzer



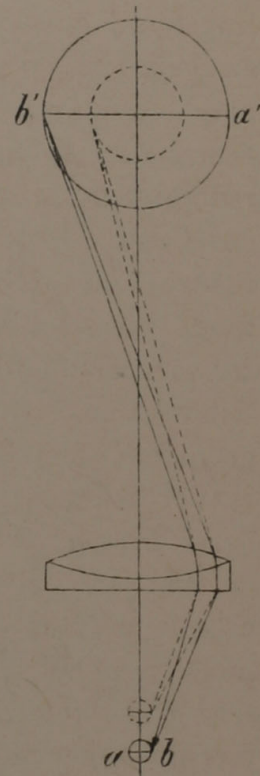
Figur 129.

Kreis, umsäumt von einem deutlichen hellen Ring, der angeblichen »Diffractionslinie«. Die letztere rührt von Lichtstrahlen her, die an den Rändern der spiegelnden Kugel zurückgeworfen werden und daher gleichsam von diesen Rändern, die man als leuchtende Punkte betrachten kann, ausgehen. Genauer gesprochen ist die helle Linie nichts anderes, als das virtuelle Bild der Blendung, wie es von der durch die Punkte a und b gehenden Kugelzone entworfen wird. Ein den einfallenden Lichtkegel schneidender Gegenstand (Fensterrahmen, Bleistift etc.) stellt sich in diesem Spiegelbilde als dunkle Linie dar, welche an zwei opponirten Stellen des Kreisumfanges kürzere oder längere Bogen bildet.

Es leuchtet nun von selbst ein, dass, wenn das Mikroskop auf den spiegelnden Rand des Quecksilberkügelchens eingestellt ist, dieser letztere auch im Objectivbilde als helle Einfassung erscheint, da ja alle Strahlen, welche zum Bilde beitragen, von Punkten der Einstellungsebene ausgehen. Anders gestalten sich dagegen die Verhältnisse, wenn der Focus des Mikroskops in einem tiefern oder höhern Niveau liegt. Es treten alsdann in Betreff des leuchtenden Kugelrandes dieselben Erscheinungen hervor, welche die Annäherung oder Entfernung einer wenig ausgedehnten Lichtquelle immer hervorruft. Nur kommt in unserem Falle die besondere Einschränkung hinzu, dass die von der Lichtquelle

ausgehenden Strahlenbündel, wie ein Blick auf die Figur zeigt, stets nur durch den entsprechenden Randtheil des Objectivs gehen, so dass z. B. für einen rechts gelegenen Punkt b des Kugelrandes die linke Hälfte des Objectivs ausser Wirkung bleibt. Unter diesen Verhältnissen wirkt eine Hebung des leuchtenden Punktes b wie eine Verschiebung desselben nach links, d. h. die Neigung des zum Objectiv gelangenden Lichtkegels oder seiner Axe wird durch die Hebung stärker, die des gebrochenen dagegen schwächer (Fig. 430). Der Bildpunkt b' rückt daher nach rechts, und aus denselben Gründen bewegt sich a' um eben so viel nach links. Das Bild

des leuchtenden Randes wird daher immer kleiner; der helle Ring zieht sich immer mehr zusammen, bis er endlich, wenn die Hebung lange genug fortgesetzt wird, nur noch als leuchtender Punct erscheint, welcher die Mitte des dunkeln Schattenbildes der Kugel einnimmt. Dabei ist natürlich vorausgesetzt, dass die Bildpuncte a' und b' trotz dieser Verschiebung ihre ursprünglichen Abstände von der Ocularlinse nicht wesentlich ändern, da im entgegengesetzten Falle ein deutliches Bild selbstverständlich nicht wahrgenommen würde. Bei den meisten Objectiven verwischt sich denn auch das Bild so rasch, dass das letzte Stadium, der helle Punct in der Mitte, nur bei äusserst kleinen Kügelchen, die also auch nur eine äusserst geringe Verschiebung erfordern, noch deutlich wahrgenommen wird. So z. B. bei den stärkern Systemen von Oberhäuser und Hartnack, beim System 7 von Bénéche und Wasserlein etc., während das System 9 der letztgenannten Optiker bei Kügelchen von 25 Mik. Diameter nicht nur den centralen Punct, sondern bei noch tieferer Einstellung (wobei die Bildpuncte ihre relative Lage wechseln, indem b' rechts und c' links zu liegen kommt) abermals einen hellen Kreis zeigt.



Figur 130.

Neben diesen Erscheinungen, welche auf die Wiedervereinigung homofocaler Lichtkegel zurückführbar sind, kommen nun aber auch Interferenzlinien zum Vorschein, welche offenbar von Strahlen herrühren, die am Rande des Objects abgebeugt wurden. So lange diese Strahlen von der Einstellungsebene ausgehen, fallen natürlich ihre Kreuzungsstellen mit den dioptrischen Bildern der betreffenden Randpartieen zusammen. Wird dagegen das Object der Focalebene mehr genähert, so rückt der gemeinsame Convergenczpunct über das Niveau des Objectivbildes hinaus, und wir sehen in diesem Niveau bloss den Querschnitt des bilderzeugenden Lichtkegels, wie er in grösserer oder kleinerer Entfernung von der Spitze sich darstellt. Demzufolge sind hier die Strahlen nach ihrer Neigung zur Axe geordnet; die stärker geneigten, welche den Rand des Objectivs passiren, gehen nothwendig auch durch den peripherischen Theil der Querschnittsfläche. Von den abgebeugten Lichtbündeln heben sich nun in der Focalebene des Objectivs — ganz wie bei der Erzeugung des Structurbildes — alle diejenigen auf, deren Phasenunterschied eine halbe Wellenlänge oder ein ungerades Vielfache dieser Grösse beträgt. Die Querschnittsfläche des Lichtkegels erscheint demzufolge aus abwechselnd hellen und dunkeln Kreisen zusammengesetzt, welche bei Anwendung von weissem Licht mehr oder minder deutliche Farben zeigen. Je intensiver die abgebeugten Lichtbündel, desto deutlicher treten natürlich diese con-

centrischen Interferenzlinien hervor; am schärfsten ausgeprägt erscheinen sie bei Anwendung von directem Sonnenlicht.

- 209** Stellt man das Mikroskop auf die Ebene ein, in welcher das vom Kugelrand entworfene virtuelle Spiegelbild als ein centraler kleiner Kreis erscheint, so verhält sich dasselbe — abgesehen von der geringern Schärfe und Lichtstärke — vollständig wie das virtuelle Bild einer Luftblase. Fensterrahmen, die sich im Spiegel reflectiren, erscheinen alsdann als gerade Linien; eine kleine Hebung des Tubus bewirkt eine rothe Färbung des Centrums und einen bläulichen Rand, eine Senkung ein bläuliches Centrum mit rothem Rand. Diese Farbenerscheinungen verdienen Beachtung, weil sie auch bei den kleinsten Kügelchen von 2—3 Mik. Durchmesser vorkommen und gerade hier die Unterscheidung derselben von kleinen Hohlräumen nicht wenig erschweren. Beide erscheinen nämlich bei einer gewissen Einstellung, die bei so kleinen Dimensionen nur wenig von der mittlern differirt, röthlich, bei etwas tieferer Einstellung hell und bei höherer dunkel. Nur wo die Kügelchen ein deutliches reelles Bild entwerfen, das also jedenfalls über dem rothen virtuellen liegt, ist ein theoretisch begründetes Unterscheidungsmerkmal gegeben und daher eine Verwechslung nicht wohl möglich. Allein in den meisten Fällen, die auch für den geübten Mikroskopiker zweifelhaft sind, lässt uns dieses Criterium so ziemlich im Stich; jeder einzelne Fall erfordert alsdann eine besondere Betrachtung und kann daher nur von einem Beobachter desselben gedeutet werden.

Es ist in manchen Fällen zu empfehlen, optische Erscheinungen der angedeuteten Art unter verschiedenen bekannten Instrumenten zu beobachten, da das verschiedene Aussehen des mikroskopischen Bildes, wenn auch nicht immer direct belehrt, doch wenigstens vor voreiligen Schlüssen bewahrt.

3. Interferenzlinien, welche die Entfernung einer wenig ausgedehnten Lichtquelle über die Objectdistanz hinaus hervorruft.

- 210** Im Vorhergehenden wurde gezeigt, dass die Annäherung eines leuchtenden Punctes gegen die Focalebene des Mikroskops eine Verschiebung seines Objectivbildes und unter Umständen die Bildung von Interferenzlinien zur Folge habe. Die entgegengesetzte Bewegung der Lichtquelle oder, was dasselbe ist, die Hebung des Mikroskoprohres, bringt natürlich eine analoge Wirkung hervor; der Bildpunct im mikroskopischen Bilde wird ebenfalls verschoben, aber in entgegengesetzter Richtung. Der Lichtsaum, welchen der spiegelnde Rand eines Quecksilbertropfens hervorruft, rückt also in diesem Falle nach aussen. Er kann sich dabei, je nach der Eigenthümlichkeit des Objectivs, in deutliche Interferenzringe auflösen oder aber sehr rasch verwischen. Eine Verwischung wird immer eintreten, wenn die entgegengesetzte Verschiebung Ringe, Ringbildung dagegen, wenn sie Verwischung bedingt.

Es leuchtet übrigens ein, dass das angeführte Beispiel zur Beobachtung dieser Erscheinung nicht gerade günstig ist, da der grösser werdende Lichtsaum auf das erhellte Gesichtsfeld fällt. Viel geeigneter sind feine Linien oder Punkte in einer (mit Tusche oder über der Kerzenflamme) geschwärzten Glasplatte oder die Spiegelbildchen kleiner Quecksilberkügelchen auf dunkeln Grunde. Die Interferenzlinien treten alsdann, wenn sie überhaupt zu Stande kommen, auffallend scharf und die peripherischen sogar mit deutlichen prismatischen Farben hervor. Wenn man die eine Hälfte des Objectivs bedeckt oder den Spiegel seitlich verstellt, so kann man sich leicht überzeugen, dass die Verschiebung in der angedeuteten Weise stattfindet, wie denn überhaupt nach dieser Methode sowohl Hebung als Senkung der Mikroskopröhre sich in ihren Wirkungen bequem studiren lassen.

Wie die angeführten Lichtquellen verhalten sich natürlich auch alle reellen oder virtuellen Bilder, deren Umgebung nur schwach oder gar nicht beleuchtet erscheint, so z. B. die hellen Linien in der Luftblase und im Hohlzylinder, die Brennpunkte cylindrischer Fäden und Röhren etc.

B. Interferenzen in der Einstellungsebene.

Die Interferenzlinien, welche man am Rande dunkler Körper, Luft- 211blasen etc. beobachtet, wurden bisher bekanntlich für Beugungserscheinungen erklärt. Man bedachte nicht, dass, wenn auch die Bedingungen der Beugung gegeben wären, was in den meisten Fällen nicht der Fall ist, die resultirenden Interferenzen sich der mikroskopischen Wahrnehmung doch stets entziehen müssten. Denn da die einfallenden Strahlen nicht parallel verlaufen, sondern einen mehr oder minder geöffneten Lichtkegel bilden, so werden die dunkeln Linien, welche bestimmten Neigungen entsprechen, stets wieder durch Strahlen anderer Neigung erhellt, so dass für das beobachtende Auge eine gleichmässige Beleuchtung resultirt. Man wird auch in allen Fällen, wo Interferenzlinien wahrnehmbar sind, sich vergeblich bemühen, die Annahme einer Beugung durch eine auf Messungen basirte Construction zu veranschaulichen, sondern im Gegentheil immer die Ueberzeugung gewinnen, dass Factoren, welche auf Beugungsphänomene modificirend einwirken, hier entweder keinen oder einen ganz andern Einfluss üben; dass die beobachteten Abstände der dunkeln Linien mit den durch Construction oder Berechnung gefundenen nicht stimmen u. s. w. Dagegen unterliegt es keiner Schwierigkeit, die verschiedenen hieher gehörigen Erscheinungen auf Interferenzen anderer Art zurückzuführen.

1. Interferenz des directen Lichtes mit reflectirtem.

Stellt man eine ebene spiegelnde Fläche AC (Fig. 131), z. B. ein Deck- 212

$$PR = \frac{a}{d} \cdot \frac{\lambda}{2 \cos \varphi}.$$

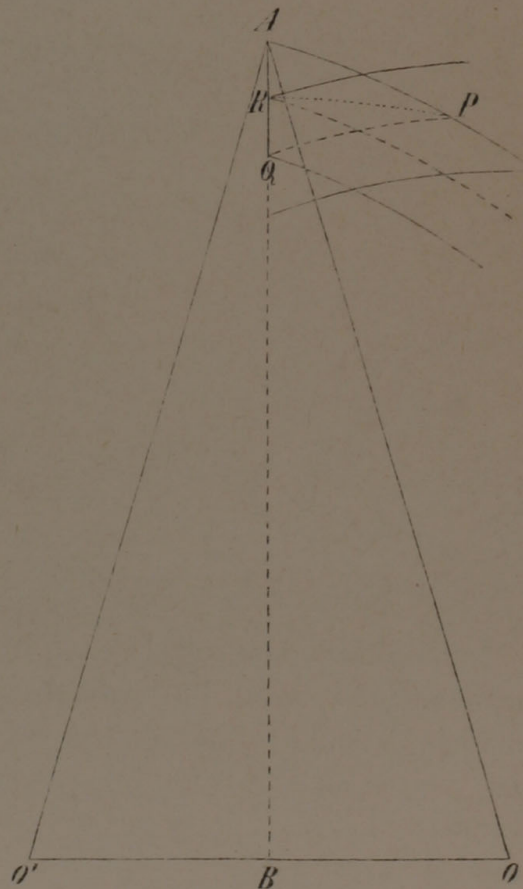
Dieser Ausdruck gestattet in allen Fällen, wo es sich um mikrometrische Messungen handelt, noch die Vereinfachung, dass $\cos \varphi = 1$ gesetzt werden kann, ohne dass der dadurch begangene Fehler messbar wäre. Man hat alsdann:

$$PR = \frac{a}{2d} \lambda.$$

Die folgenden Kreuzungspunkte, welche der zweiten, dritten, vierten . . . dunkeln Linie entsprechen, stehen ebensoweit von dem unmittelbar vorhergehenden ab, wie der erste von der Spiegelfläche. Sie liegen sämtlich auf einem von B aus durch P gezogenen Kreisbogen, der jedoch bei der Kleinheit der in Betracht kommenden Abstände als gerade Linie zu betrachten ist und folglich durchgehends in die Einstellungsebene fällt. Die Interferenzlinien erscheinen demnach, wenn man sie in homogenem Lichte beobachtet, sämtlich gleichweit von einander entfernt und zwar um die Grösse $\frac{a}{2d} \lambda$. Sie rücken also um so näher, je grösser φ , d. h. je weiter die Spalte von der Spiegelebene entfernt wird, und zeigen, wenn $d = \frac{1}{2}a$, nur noch einen gegenseitigen Abstand von einer Wellenlänge.

Mit diesen theoretischen Ableitungen stimmen die Messungen vollkommen überein. In einem gegebenen Fall war z. B. $d = 2,75^{\text{mm}}$, $a = 30^{\text{mm}}$, der Abstand der Linien in weissem Licht 3,4 Mik.; die Rechnung ergab für die Wellenlänge $\lambda = 0,567$ Mik., welcher Werth ziemlich genau den mittlern Strahlen entspricht.

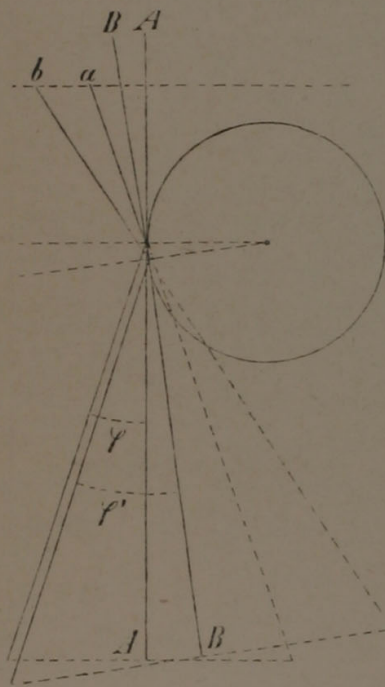
Die prismatischen Farben der hellen Interferenzstreifen sind natürlich in Wirklichkeit immer so geordnet, dass das Violett für das erste Maximum der Lichtintensität der Spiegelfläche zugekehrt, das Roth davon abgekehrt ist. Nach den Gesetzen der Farbenmischung erscheint in Folge dessen der Innenrand bläulich, der äussere gelbroth. Für die folgenden Maxima findet natürlich eine weniger leicht zu übersehende Superposition der verschie-



Figur 132.

denen Farben statt; der Gesamteffect lässt sich indessen nach einfachen Regeln und zwar genau in derselben Weise bestimmen, wie beim Fresnel'schen Spiegelversuch oder bei den Newton'schen Farbenringen im reflectirten Licht, worüber das Nähere in den Lehrbüchern der Physik nachzulesen ist. Unter dem Mikroskop erscheinen aber die resultirenden Farben schon für die erste helle Linie nur dann unverändert, wenn dasselbe achromatisch oder überverbessert ist, während ein unterverbessertes Instrument die Ordnung der Farben umkehrt oder doch wenigstens deren Intensität schwächt. Es bedarf daher keines besondern Nachweises, dass dieser Einfluss der chromatischen Abweichung auch bei den folgenden Interferenzlinien zur Geltung kommen muss.

- 214 Ist die spiegelnde Fläche sphärisch gekrümmt, so erhält der Winkel φ , welchen die reflectirten Strahlen mit der Spiegelebene, oder was hier dasselbe ist, mit der entsprechenden Tangentialebene bilden, für jede folgende



Figur 133.

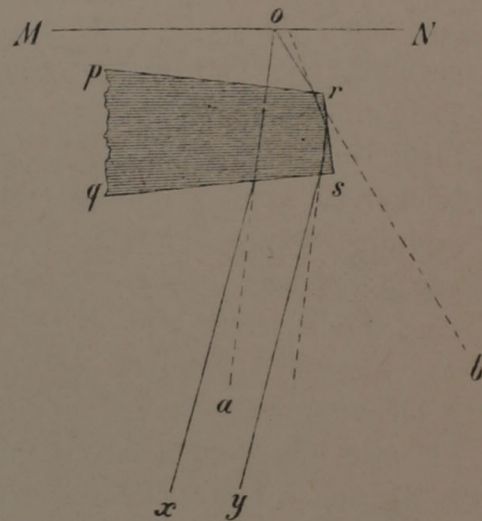
Interferenzlinie einen grössern Werth. In Figur 133 ist z. B. AA' die Spiegelebene, welche dem Punkt a , BB' diejenige, welche dem Punkt b entspricht; φ und φ' sind die zugehörigen Neigungswinkel der einfallenden Strahlen. Dem entsprechend werden die Abstände der dunkeln Linien um so kleiner, je grösser ihre Entfernung von der spiegelnden Fläche. Man beobachtet diess z. B. an Luftblasen, Quecksilbertropfen und andern reflectirenden Körpern, und zwar besonders deutlich, wenn man statt der gewöhnlichen kreisförmigen Blendungsöffnung eine spaltenförmige in geeigneter Entfernung vom Object langsam hin und her bewegt, um dadurch die günstigste Lage im Verhältniss zu den reflectirenden Flächen zu finden.

Auf die eben angegebene Weise lassen sich auch die Linien, welche man hie und da auf Durchschnitten durch Gewebe (z. B. Kork) den Wandungen entlang verlaufen sieht, sehr schön zur Erscheinung bringen. Die Zu- und Abnahme ihrer Abstände je nach der Neigung der einfallenden Lichtstrahlen beweist, dass sie zu den im Vorhergehenden besprochenen Interferenzerscheinungen gehören.

2. Interferenz des gebrochenen Lichtes mit reflectirtem.

- 215 Ist $pqrs$ (Fig. 134) der Durchschnitt eines brechenden Körpers, z. B. eines Krystalls, so werden die von unten parallel einfallenden Licht-

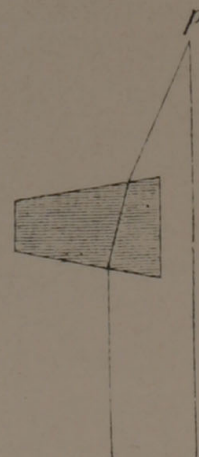
strahlen x und y an den Flächen qs und pr gebrochen und der letztere überdiess von der schief stehenden Randfläche reflectirt. Ein in der Einstellungsebene MN liegender Punct o wird daher gleichsam von zwei Lichtquellen a und b beleuchtet, deren Lage durch die Gesetze der Brechung und der Reflexion bestimmt ist. Die Möglichkeit der Interferenz ist dadurch gegeben, und es wäre ein Leichtes, für irgend einen gegebenen Fall die Abstände der Interferenzlinien zu berechnen. Für die Praxis hätte jedoch die Ausführung einer solchen Rechnung keinen besondern Werth, da die erforderlichen Data sich nur selten durch directe Beobachtung bestimmen lassen, hier also willkürlich festgestellt werden müssten. Soviel ist indess ohne Weiteres klar, dass die Interferenzlinien, von oben gesehen, sich auf die Fläche pr projectiren und dass ihre gegenseitigen Abstände um so kleiner werden, je grösser die Entfernung der Lichtquelle (Blendung) von der Ebene der reflectirten Fläche. Denselben Ursprung, wie die hier erwähnten Interferenzerscheinungen bei Krystallen, haben voraussichtlich auch die feinen Linien, welche bei Hohlcylindern an der Stelle der äussern und innern hellen Linie auftreten, sobald die den Rand oder das Lumen erhellenden Strahlen noch über dasselbe hinaus zur Beleuchtung beitragen.*)



Figur 134.

3. Interferenz des gebrochenen und directen Lichtes.

Die Herumlendung einfallender Strahlen nach einem direct beleuchteten Puncte p der Einstellungsebene (Fig. 135) kann ebensogut durch Brechung als durch Reflexion vermittelt werden, und da der gebrochene Strahl stets einen grössern Weg zurücklegt als der directe, so muss auch in diesem Fall Interferenz stattfinden. Die Entscheidung, ob gebrochene oder reflectirte Strahlen mit directen interferiren, ist indess nicht immer leicht, da die Neigung der reflectirenden oder brechenden Fläche, das Brechungsverhältniss etc., überhaupt die nöthigen Anhaltspunkte zur Bestimmung des Strahlenganges sich in manchen Fällen nicht ermitteln lassen.



Figur 135.

*) Flögel hat den beachtenswerthen Versuch gemacht (s. Archiv f. mikrosk. Anat. IX, p. 307), die gelbbraune Färbung geglühter Schalen von *Pleurosigma angula* -

4. Interferenzfarben dünner Blättchen.

217 Wenn eine dünne Luftschicht zwischen zwei brechende Medien, z. B. zwischen eine Glasplatte und eine Convexlinse von sehr schwacher Krümmung eingeschlossen ist, so entstehen bekanntlich Interferenzfarben, die man gewöhnlich als Newton'sche Ringe bezeichnet. Die Interferenz findet statt zwischen Strahlen, welche an der obern, und solchen, welche an der untern Grenzfläche der Luftschicht reflectirt wurden. Da nämlich die letztern einen längern Weg zurückgelegt haben, so sind sie beim Austritt gegenüber den ersten im Allgemeinen um einen grössern oder kleinern Theil einer Wellenlänge verschoben. Beträgt die Verschiebung, homogenes Licht vorausgesetzt, eine halbe Wellenlänge oder eine ungerade Anzahl solcher Hälften, so heben sich die beiden Strahlensysteme gegenseitig auf und die entsprechende Stelle erscheint dunkel; in jedem andern Falle dagegen resultirt eine grössere oder geringere Helligkeit, welche bei einem Phasenunterschied von einer ganzen Wellenlänge ihr Maximum erreicht.

Dieselben Erscheinungen ruft natürlich auch eine beliebige dünne Schicht einer flüssigen oder festen Substanz hervor, sofern das auffallende Licht an den beiden Grenzflächen in ähnlicher Weise reflectirt wird, wie in dem eben besprochenen Falle. Für die Verwerthung dieser Interferenzeffekte ist sodann die Thatsache wichtig, dass bei der Reflexion eine halbe Wellenlänge verloren geht, wenn das zweite Mittel dichter ist als das erste, während die Phase dieselbe bleibt, wenn das Umgekehrte der Fall ist. Ausser dem Phasenunterschied, der durch die Ungleichheit der Wege bedingt wird, muss demnach unter allen Umständen noch eine halbe Wellenlänge für die Reflexion am dichtern Medium in Rechnung gebracht werden. Denken wir uns also die gegebene Schicht keilförmig auslaufend und durch rechtwinklig einfallende Strahlen beleuchtet, so erscheint dieselbe dunkel an all' den Stellen, wo ihre Dicke gleich einer geraden Anzahl von Viertelswellenlängen, weil alsdann die Wegdifferenz der beiden Strahlensysteme durch ein gerades Vielfache von halben Wellenlängen, d. h. durch ganze Wellenlängen ausgedrückt wird, so dass der durch Reflexion bedingte Phasenunterschied den Ausschlag giebt. Die Lichtintensität erreicht dagegen ihr Maximum überall dort, wo die Wegdifferenz gleich einem ungeraden Vielfachen von Viertelswellenlängen. Ist also die Wellenlänge $= \lambda$ und die Dicke der wirksamen Schicht $= d$, so erhält man:

$$\begin{array}{ll} \text{Hell,} & \text{wenn } d = \frac{\lambda}{4}, \quad 3 \cdot \frac{\lambda}{4}, \quad 5 \cdot \frac{\lambda}{4}, \quad 7 \cdot \frac{\lambda}{4} \dots \\ \text{Dunkel,} & \text{» } d = 0, \quad 2 \cdot \frac{\lambda}{4}, \quad 4 \cdot \frac{\lambda}{4}, \quad 6 \cdot \frac{\lambda}{4} \dots \end{array}$$

tum auf die unter 1. und 2. besprochenen Interferenzerscheinungen zurückzuführen. Die Reflexion des Lichtes würde hienach an den Wandungen der kleinen Hohlräume (Kammern) stattfinden, welche nach Flögel die bekannte Zeichnung bedingen. Der Verfasser betrachtet seinen Versuch selbst als ein Wagesstück, hebt aber mit Recht hervor, dass die Erscheinung jedenfalls eine optische ist.

Da nun die Wellenlängen sich umgekehrt verhalten wie die Brechungsexponenten, so ist d für eine beliebige Substanz, deren Brechungsvermögen bekannt ist, bestimmbar. Man hat nur nöthig, die bekannte Dicke der entsprechenden Luftschicht durch den Brechungsindex der betreffenden Substanz zu dividiren; der Quotient ist die gesuchte Dicke. Eine Wasserschicht mit dem Brechungsexponenten $\frac{4}{3}$ bedingt hienach genau denselben Effect, wie eine um einen Drittel dickere Luftschicht.

Bei Anwendung von weissem Licht fallen natürlich die Maxima und Minima der Lichtintensität für Strahlen verschiedener Brechbarkeit nicht zusammen. Statt der Abstufungen von Hell und Dunkel kommen in Folge dessen Farben zum Vorschein, ganz wie bei den oben besprochenen Interferenzerscheinungen. Es sind die sogenannten Newton'schen Farben, die bekanntlich bei zunehmender Dicke der Schicht in bestimmter Ordnung auf einander folgen. Jeder einzelnen Farbe entspricht darum auch eine bestimmte Dicke der Luftschicht, woraus in gleicher Weise wie oben die Dicke einer beliebigen Substanz von bekanntem Brechungsvermögen berechnet werden kann.

Nach den Beobachtungen Flögel's an Pleurosigma stösst man jedoch bei dergleichen Bestimmungen, wenn man sie mit directen mikrometrischen Messungen vergleicht, auf eigenthümliche Widersprüche. Die berechnete Dicke der wirksamen Schicht entspricht nämlich, wie aus den Flögel'schen Daten hervorzugehen scheint, genau der Hälfte des wirklichen Werthes, so dass man versucht ist, in der Bestimmung der Phasendifferenz einen Irrthum von einer halben Wellenlänge zu vermuthen. In der That giebt Valentin*) als Dicke der Luftschicht für den ersten dunkeln Ring eine volle Wellenlänge an, also gerade das Doppelte des in obiger Formel bezeichneten Werthes, und dasselbe gilt auch für die übrigen Stellen und somit für die Newton'schen Farben überhaupt. Allein die Valentin'schen Ziffern sind für die Reflexion an Luft-, Glas- oder Flüssigkeitsschichten ganz zweifellos unrichtig,**) und es liegt einstweilen kein Grund vor, bei organisirten Membranen ein andres Verhalten anzunehmen.***) Wir möchten daher eher vermuthen, die Flögel'schen Beobachtungen an Pleurosigma seien durch die Reflexion des Lichtes an den Kammerwänden irgendwie beeinflusst. Es will uns a priori fraglich erscheinen, ob eine Membran mit so eigenthümlicher Structur sich wie eine homogene Substanz verhalte.

*) Valentin, Unters. d. Pflanzen- u. Thiergewebe im polar. Licht (1861), p. 120.

**) Vgl. Wilde, in Pogg. Ann. Bd. 80, p. 407; Bd. 82, p. 18.

***) Vgl. übrigens Quincke: Ueber die Aenderung der Phase bei der Reflexion der Lichtwellen (Pogg. Ann. Bd. 442, p. 192 (1871)).

$$oq = f \frac{\sin\left(\frac{\omega}{2} + \delta'\right)}{\cos\frac{\omega}{2} \cos\delta'} = f \left(\tan\frac{\omega}{2} + \tan\delta' \right)$$

und ebenso erhält man:

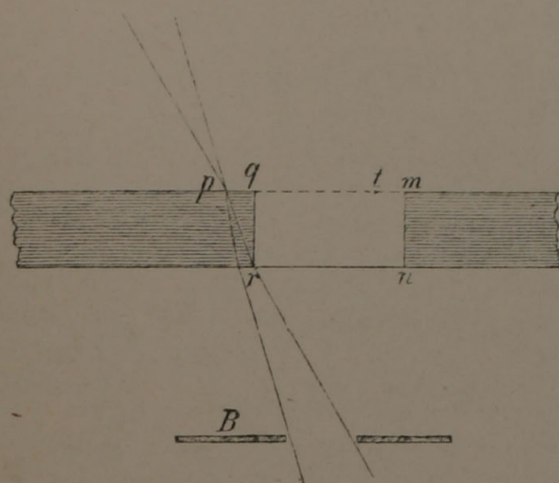
$$oq' = f \left(\tan\frac{\omega}{2} - \tan\delta' \right).$$

Die Grenzlinie des Kernschattens rückt also einerseits gegen den optischen Mittelpunkt vor und fällt mit diesem zusammen, sobald $\delta' = \frac{\omega}{2}$; andererseits entfernt sie sich von demselben und erreicht bei starken Vergrößerungen, wenn z. B. $\omega = 80^\circ$ und δ' etwas grösser als 45° , leicht einen Abstand von $2f$. Dasselbe Raisonnement gilt natürlich auch für den Halbschatten; die Formeln bleiben dieselben, nur dass δ an die Stelle von δ' kommt. Damit ist aber bewiesen, dass die schiefe Beleuchtung bei Flächenelementen, deren Breite weniger als $2f$ beträgt, auf der einen Seite den Schatten ganz aufhebt, während sie ihn auf der andern verstärkt. Wo demnach viele solcher kleinen Sammellinsen sich unmittelbar aneinander anschliessen, da zeigt das mikroskopische Bild eben so viele helle Stellen, welche mit dunkeln alterniren, wie diess auch bei gerader Beleuchtung der Fall ist. Während aber die letztere möglicher Weise nur den Halbschatten zur Erscheinung bringt, erzeugt das schiefe Licht den viel augenfälligeren Kernschatten und steigert dadurch die Gegensätze zwischen Hell und Dunkel.

Wechseln dagegen unter denselben Voraussetzungen die kleinen Sammellinsen mit Zerstreuungslinsen oder mit Flächenelementen ab, die keine Ablenkung verursachen, so bleiben diese letztern hell, während die Zerstreuungslinsen Licht und Schatten in umgekehrter Anordnung zeigen. Die beleuchteten Theile benachbarter Flächenelemente schliessen sich also aneinander an; je zwei Elemente bilden zusammen eine helle und eine dunkle Stelle. Die Zahl der Licht- und Schattenpunkte im mikroskopischen Bilde wird demnach auf die Hälfte reducirt, und es kann vorkommen, dass in Folge dessen Streifungen sichtbar werden, welche bei gerader Beleuchtung nicht wahrnehmbar sind.

Obschon nun allerdings diese Betrachtungen nicht auf die feinen kör- **219**
perlichen Structuren anwendbar sind, weil diese nach Früherem durch Beugungsbilder wiedergegeben werden, so ist es doch wichtig, den Einfluss der schiefen Beleuchtung auf das mikroskopische Bild, gerade mit Rücksicht auf die gebrochenen Strahlen, kennen zu lernen. Wir wollen daher als spezielles Beispiel noch die Wirkung erörtern, welche der senkrechte Rand einer Membran oder eines Deckgläschens bei schiefer Beleuchtung hervorbringt. Ist qr (Fig. 137) die senkrechte Randfläche und B die seitlich verschobene Blendung, welche die Neigung des einfallenden Lichtkegels bestimmt, dann ist ohne Weiteres aus der Figur ersichtlich, dass,

wenn das Mikroskop auf die Oberfläche des Deckgläschens eingestellt wird, der Punkt p eben noch voll beleuchtet erscheint. Weiter nach rechts werden

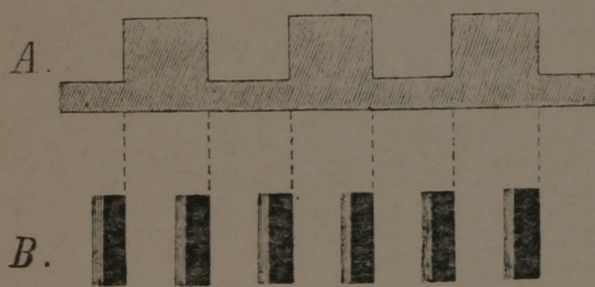


Figur 137.

die rückwärts construirten Strahlen zunächst theilweise, dann sämmtlich von der senkrechten Randfläche nach links reflectirt oder doch so gebrochen, dass sie die Blendungsöffnung nicht erreichen. Der Rand des Deckgläschens fällt also in den Schatten. In ähnlicher Weise lässt sich zeigen, dass wenn man bei gleicher Beleuchtung den linken Rand mn (Fig. 137) eines Deckgläschens beobachtet, der letztere selbst hell, dagegen das angrenzende Stück mt der Einstel-

lungsebene dunkel erscheint.

Denken wir uns also ein Object mit vorstehenden Leisten (Fig. 138 A), so muss nach dem eben Angeführten die Einstellung auf die Oberfläche der



Figur 138.

Erhabenheiten ein Bild liefern, wie es in Fig. 138 B dargestellt ist. Die Leisten sowohl als die Vertiefungen zwischen denselben fallen je mit ihrer rechten Kante in den Schatten, und zwar fällt derselbe um so breiter aus, je schiefer die Beleuchtung. Den nämlichen Effect müssten

natürlich auch abwechselnd dichtere und weichere Schichten mit senkrechten Grenzflächen hervorrufen, wenn das Mikroskop auf die Oberfläche derselben eingestellt wird.

220 Die Bedeutung der schiefen Beleuchtung für das dioptrische Bild liegt also vorzugsweise darin, dass sie die Gegensätze zwischen Licht und Schatten steigert und die Schattenlinien überdiess breiter und daher deutlicher zur Erscheinung bringt. In besondern Fällen kommt noch hinzu, dass die Zahl derselben bei hinreichend schiefer Beleuchtung nur halb so gross sein kann als bei gerader, wodurch natürlich die Wahrnehmbarkeit in noch höherem Grade gesteigert wird.

Der Neigungswinkel des einfallenden Lichtkegels, oder genauer seiner Axe, muss natürlich für jeden gegebenen Fall durch Tatonnement besonders bestimmt werden. Sein Werth richtet sich nicht bloss nach der Natur des Objectes und nach der Oeffnung ω des Objectivs, sondern auch nach der Differenz zwischen den extremen Werthen von δ . Da nämlich die Unterscheid-

barkeit abwechselnd positiver und negativer Gesichtseindrücke am grössten ist, wenn weder die einen noch die andern ein entschiedenes Uebergewicht haben, so ist stets diejenige Combination die günstigste, durch welche die Schatten- und Lichtlinien nahezu gleiche Breite und erstere überdiess ihre grösste Tiefe erhalten. Wo beides zugleich nicht erreichbar ist, lässt sich freilich eine grössere Breite der Schatten nur auf Kosten ihrer Dunkelheit, und eine grössere Dunkelheit nur auf Kosten ihrer Breite herstellen. Das Auge hat dann zu entscheiden, welche Mittelstufe für die Beobachtung die zweckdienlichste ist.

Was die schiefe Beleuchtung durch Randstrahlen eines geraden, ziem- 221
lich weit geöffneten Lichtkegels betrifft, wie sie durch Anwendung einer ringförmigen Blendungsöffnung erzielt wird, so waren wir nie im Falle, die Vorzüge dieser Beleuchtungsart bei dieser oder jener Untersuchung practisch kennen zu lernen. Soweit aber die mit Probeobjecten angestellten Experimente ein Urtheil erlauben, möchten wir dieselben gerade nicht allzu hoch anschlagen. Theoretisch betrachtet kann eine solche Beleuchtung, wenn wir bloss die dioptrischen Vorgänge berücksichtigen, nur die Wirkung haben, dass die Lichtstärke des Bildes in demselben Verhältnisse abnimmt, in welchem der Querschnitt des wirksamen Lichtkegels durch Abhaltung der Centralstrahlen sich verkleinert. Die Grenzlinien des Kern- und Halbschattens aber behalten unter allen Umständen ihre Lage bei, da sie in jedem gegebenen Falle nur von der Neigung der extremen Randstrahlen, d. h. von den Maximalwerthen von δ und ω abhängen. Eine gemilderte Lichtintensität lässt sich aber eben so leicht auch dadurch herstellen, dass man den Spiegel einer weniger intensiven (jedoch hinreichend ausgedehnten) Lichtquelle zuwendet oder statt desselben ein Stück weisses Papier als reflectirende Fläche benutzt, oder indem man die einfallenden Strahlen durch einen halbdurchsichtigen Gegenstand (Seidenpapier, mattgeschliffenes Glas u. dgl.) gehen lässt.

Eine wesentlich günstige Wirkung der fraglichen Beleuchtungsart würde nur dann erklärlich sein, wenn das Objectiv bloss für Randstrahlen innerhalb gewisser Grenzen der Neigung, nicht aber für Centralstrahlen, aplanatisch wäre, oder wenn die peripherischen Beugungsbüschel für sich allein günstiger wirkten, als in Verbindung mit den mehr centralen. Im erstern Falle müsste jedoch eine ringförmige Blendung nicht bloss für gewisse Objecte, sondern für alle ohne Ausnahme vorthellhaft sein.

V.

Die Bewegungserscheinungen.

222 Die Beobachtung der Bewegungserscheinungen unter dem Mikroskop hat schon zu manchen irrigen Vorstellungen über die Natur dieser Bewegungen geführt. Wenn man z. B. Schwärmsporen den Raum des ganzen Gesichtsfeldes in einer Secunde zurücklegen sieht, so möchte man glauben, dieselben schiessen pfeilgeschwind durch das Wasser, während sie in Wirklichkeit vielleicht nur den dritten Theil eines Millimeters zurücklegen, was auf die Stunde etwas mehr als einen Meter ausmacht. Man darf also nie vergessen, dass die Bewegungsgeschwindigkeit mikroskopischer Objecte immer nur eine scheinbare ist und dass die richtige Beurtheilung derselben nur dadurch möglich wird, dass man das wirkliche Verhältniss zwischen Raum und Zeit als Maassstab nimmt. Will man behufs gewisser Vergleichen auch die Grösse der sich bewegenden Körper in Rechnung bringen, so mag man das immerhin thun; die Ermittlung der wirklichen Geschwindigkeit bleibt jedoch bei jeder fortschreitenden Bewegung die Hauptsache.

223 Wenn ein schraubenförmig gewundenes Object von geringer Dicke sich in der Einstellungsebene um seine Axe dreht und zugleich vorwärts bewegt, so gewährt dasselbe den täuschenden Schein einer Schlangenbewegung. Es rührt diess daher, dass die den aufeinanderfolgenden Zeitmomenten entsprechenden Horizontalprojectionen eines solchen Objects genau dieselben sind, wie wenn die Bewegung eine wirkliche Schlangenbewegung wäre. Als Beispiel einer hieher gehörigen Erscheinung führen wir das angebliche Schlängeln von *Spirillum* und *Vibrio* an.

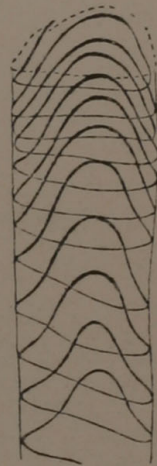
Aehnliche Täuschungen rufen zuweilen auch Schwärmsporen und Spermatozoen hervor; sie scheinen Schlangenlinien zu beschreiben, während sie in Wirklichkeit sich in einer Spirale bewegen. Man glaubte überhaupt früher eine Menge verschiedener Bewegungserscheinungen unterscheiden zu müssen, während neuere Beobachter die meisten derselben als ein mit Drehung verbundenes Vorwärtstrücken erkannt haben, wobei die Drehung bald um eine centrale, bald um eine excentrische Axe erfolgt*). Dahin gehören beispielsweise auch die vermeintlichen Schwingungen der Oscillarien, deren Niveauveränderungen während der Schwingung man früher übersehen hatte.

Zur Charakteristik einer Spiralbewegung gehört natürlich auch die Angabe, ob sie rechts- oder linkswendig sei. Diess zu unterscheiden ist bei kugeligen oder cylindrischen Körpern, die sich um eine centrale Axe be-

*) Vgl. hierüber Nägeli, Beiträge II. pag. 88 ff.

wegen, keineswegs leicht und in manchen Fällen, wenn das Object sehr klein und der Inhalt homogen ist, geradezu unmöglich. Die kleinen Abweichungen von der Cylinder- oder Kugelform, wie sie bei jeder Zelle vorkommen, reichen alsdann gerade aus, um wenigstens erkennen zu lassen, dass irgend eine Drehung stattfindet. Die Unterscheidung der Drehungsrichtung ist nur dann möglich, wenn feste Punkte, deren Lage zur Axe der Spirale bekannt ist, in ihrer Bewegung um dieselbe mindestens ein Stück weit verfolgt werden können. Dasselbe gilt *mutatis mutandis* auch von spiralig gewundenen Fäden, Spiralgefäßen etc.; man muss die zu- und abgekehrte Seite der Windungen sicher von einander unterscheiden können.

Ist der Verlauf der Windungen sehr unregelmässig, wie z. B. in Fig. 139, so erfordert es einige Uebung und Vorsicht, um bei kleinen Objecten eine Spirallinie als solche zu erkennen. Das mikroskopische Bild kann alsdann leicht zu der Annahme führen, man habe es mit einem cylindrischen Körper zu thun, der aus ineinander geschachtelten Glocken oder Trichtern zusammengesetzt sei. So wurden z. B. die spiraligen Verdickungsfasern, wie sie aus den Epidermiszellen mancher Samenhäute hervorquellen, gedeutet, obschon man hie und da neben den unregelmässigen auch ganz regelmässige Spiralen beobachtet.



Figur 139.

Uebrigens darf man nicht vergessen, dass im mikroskopischen Bilde **224** eine Spirallinie stets in gleicher Weise gewunden erscheint, wie mit blossem Auge gesehen, während im Spiegelbilde (da die Umkehrung nur eine halbe ist) eine rechtsläufige Schraube sich bekanntlich linksläufig darstellt, und umgekehrt. Wird daher das mikroskopische Bild durch einen Spiegel betrachtet, wie z. B. beim Zeichnen mittelst des Sömmerring'schen Spiegelchens, oder werden überhaupt die bilderzeugenden Strahlenbündel irgendwo durch einmalige Reflexion abgelenkt, so findet eine ähnliche Umkehrung der Rechtswendung in Linkswendung statt, welche indess durch eine zweite Reflexion, wie sie z. B. bei der Oberhäuser'schen Camera lucida und bei manchen multoculären Mikroskopen vorkommt, wieder aufgehoben wird. Das Alles ist, wie man sieht, sehr einleuchtend und für den practischen Beobachter so zu sagen selbstverständlich; dessenungeachtet haben schon manche Mikroskopiker den Beweis geliefert, dass sie über dergleichen Dinge noch ganz im Unklaren sind.

VI.

Die Niveaudifferenzen.

225 Da man durch das Mikroskop nur solche Gegenstände, welche genau in der Einstellungsebene liegen, scharf sieht, so ist es möglich, die Entfernung zweier Objectpuncte in der Richtung der Mikroskopaxe dadurch zu ermitteln, dass man mit Hülfe eines zweiten horizontal gestellten Mikroskops oder auch vermittelst einer hiefür besonders construirten Mikrometerschraube die Niveaudifferenz der entsprechenden Einstellungsebenen misst. Bei diesem Verfahren ist jedoch, insofern die gegebenen Objecte in ein flüssiges oder festes Medium, z. B. in Wasser, eingetaucht sind, eine Fehlerquelle zu berücksichtigen, welche in sehr erheblichem Grade auf die Resultate der Messung influirt. Bestimmt man nämlich die Tubusverschiebung, welche nothwendig ist, um abwechselnd den einen und andern der beiden gegebenen Objectpuncte in die Einstellungsebene zu bringen, so fällt die Verschiebungsgrösse immer beträchtlich kleiner aus als die wirkliche Niveaudifferenz. Als Brennweite einer kugelförmigen Luftblase in Wasser erhält man z. B. 0,98—1,04 (der Radius als Einheit gedacht), während sie in Wirklichkeit für die maassbestimmenden mittlern Strahlen circa 1,3 beträgt.

Dieser Fehler rührt daher, dass der Uebergang der Lichtbündel aus Wasser in Luft (das Deckplättchen kommt hier nicht in Anschlag) für das bewaffnete Auge im Allgemeinen dieselbe Wirkung hervorbringt, wie für das unbewaffnete. Ein in Wasser befindlicher Gegenstand wird nämlich scheinbar gehoben und zwar absolut genommen um so mehr, je tiefer er liegt. Das virtuelle Bild einer Luftblase wird also stärker gehoben, als das Centrum derselben, die Brennweite folglich verkürzt, und aus demselben Grunde wird ganz allgemein der senkrechte Abstand zweier Puncte verkleinert. Das Maass dieser Verkleinerung hängt natürlich vom Einfallswinkel der wirksamen Lichtstrahlen ab und wird für kleine Werthe desselben, so lange die Bogen sich wie die Sinus verhalten, ganz allgemein durch $1 - \frac{1}{n}$ ausgedrückt, wenn n den Brechungscoefficienten bezeichnet. Da nun die einfallenden Lichtkegel im Objectiv so gebrochen werden, als ob sie aus Strahlen von bestimmter mittlerer Neigung beständen und diese Neigung bei den stärkern der untersuchten Systeme nicht über 42—48° steigt, so ist obiger Ausdruck in den meisten vorkommenden Fällen annähernd richtig und folglich die trigonometrische Bestimmung *) des Fehlers

*) Ist D die wirkliche und d die scheinbare Niveaudifferenz, α der Einfallswinkel und α' der (grössere) Brechungswinkel, so erhält man:

überflüssig. In Wasser mit dem Brechungscoefficienten $\frac{4}{3}$ wird demnach jede Niveaudifferenz um den 4ten Theil ihrer wirklichen Grösse verkleinert, d. h. auf $\frac{3}{4}$ reducirt. (Die genaue Berechnung giebt bei einem Einfallswinkel von 48° statt $\frac{3}{4}$ den etwas kleinern Werth 0,7395.)

Es giebt übrigens ein einfaches Mittel, die genannte Fehlerquelle zu beseitigen; man hat nur nöthig, die Luftschicht zwischen Objectiv und Deckglas durch Wasser zu ersetzen. Die Messungen stimmen alsdann genau mit den wahren Werthen überein.

und

$$d = \frac{\cos \alpha' \sin \alpha}{\sin \alpha' \cos \alpha} \cdot D$$

$$D - d = \frac{\sin (\alpha' - \alpha)}{\cos \alpha \sin \alpha'} \cdot D$$

Fünfter Abschnitt.

Das einfache Mikroskop und das Bildmikroskop.

226 Das zusammengesetzte dioptrische Mikroskop nimmt heut zu Tage unter allen optischen Hilfsmitteln, welche zur Beobachtung kleiner Gegenstände benutzt werden können, unstreitig den ersten Rang ein. Es ist das eigentliche Beobachtungsinstrument des Naturforschers, die Hauptwaffe des Mikroskopikers geworden. Der Wirkungskreis, welcher seinem frühern Nebenbuhler, dem einfachen Mikroskope, noch geblieben ist, wird von Jahr zu Jahr kleiner, und das Bildmikroskop (je nach der Beleuchtungsart Sonnen-, Gas- oder photoelektrisches Mikroskop genannt) hatte für die Wissenschaft von jeher so gut wie keine Bedeutung. Der Leser wird es unter diesen Umständen gerechtfertigt finden, wenn wir den genannten Apparaten nur eine verhältnissmässig kurze, nachträgliche Erörterung widmen.

I.

Das einfache Mikroskop.

A. Allgemeine Grundsätze.

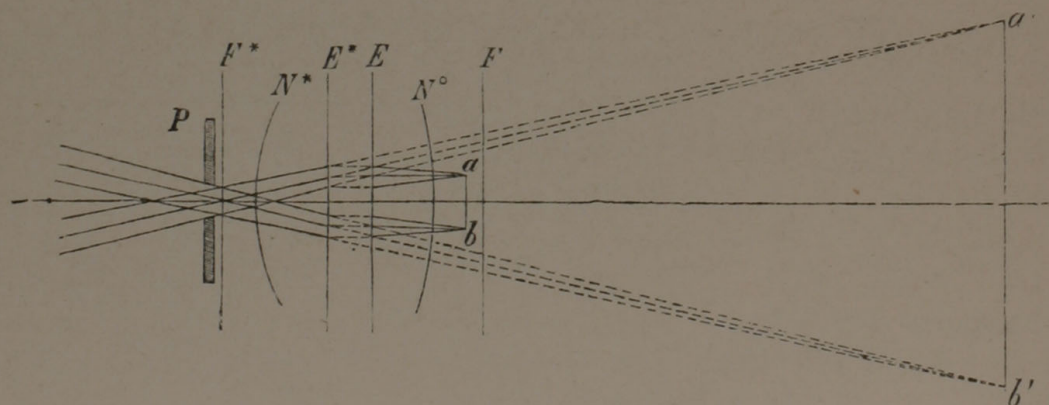
227 Als einfaches Mikroskop ist im Grunde jede Linse oder Linsencombination zu betrachten, welche in der Weise Anwendung findet, dass das Auge das von derselben entworfene virtuelle Bild direct beobachtet. In der Praxis pflegt man indess nur die stärker vergrössernden Linsen oder Linsensysteme, welche zum bequemern Gebrauch an einem Stativ befestigt sind, mit dem gedachten Ausdruck eines einfachen Mikroskops zu bezeichnen, während die schwächern Linsen, welche in freier Hand gehalten werden können, Loupen genannt werden. Es versteht sich übrigens von selbst, dass diese Unterscheidung eine ziemlich willkürliche sein muss, da man auch die Loupe nicht selten mit einem Gestell versieht, mittelst dessen sie in die gewünschte Lage zum Object gebracht werden kann, und umge-

kehrt auch die stärkern Systeme des einfachen Mikroskops zuweilen als Loupe in die Hand nimmt oder an einem gewöhnlichen Halter befestigt. Die übliche Benennung richtet sich also mehr nach der Form, welche man dem ganzen Apparat giebt, als nach seiner optischen Beschaffenheit.

Für die Theorie ist es natürlich vollkommen gleichgültig, ob die Vergrößerung stärker oder schwächer sei; das Zustandekommen eines scharfen Bildes ist in allen Fällen an die Bedingung geknüpft, dass die beiden Aberrationen für den gegebenen Objectabstand, der natürlich immer etwas kleiner ist als die Brennweite, möglichst beseitigt seien. Die Herstellung einer guten Loupe oder eines einfachen Mikroskops ist daher genau mit denselben Schwierigkeiten verbunden, wie diejenige eines gewöhnlichen Objectivsystems von ungefähr gleicher Brennweite. Der Umstand, dass im erstern Fall virtuelle Bilder, statt reellen, in Betracht kommen, macht die Sache weder leichter noch schwerer, obschon er natürlich berücksichtigt werden muss. Alles, was früher über die Verbindung von Flintglas- und Kronglaslinsen zu aplanatischen Systemen gesagt wurde, findet demzufolge auch hier unmittelbare Anwendung, und auch die Prüfung des optischen Vermögens und der vergrößernden Kraft kann in derselben Weise geschehen, wie beim zusammengesetzten Mikroskop. Es bleibt uns daher nur übrig, diejenigen Punkte noch besonders hervorzuheben, welche zum Verständniss des Strahlenganges unter den gegebenen Verhältnissen, die sich in mancher Beziehung von den früher betrachteten unterscheiden, wesentlich sind.

1. Oeffnung der wirksamen Lichtkegel.

Die Oeffnung der von den Objectpuncten einfallenden Strahlenkegel hängt bei einem gegebenen System von der Pupillenöffnung des beobach-



Figur 140.

tenden Auges und von der Oeffnung der Blendungen ab. Ist ab (Fig. 140) das Object, F die vordere und F^* die hintere Brennebene, EE^* das Hauptebenenpaar und P die Pupille, dann ist der Durchmesser der letztern für

alle endlichen Entfernungen des virtuellen Bildes $a'b'$ offenbar immer etwas grösser, als der Durchmesser der Flächen, in welchen die optisch wirksamen Lichtkegel die Hauptebenen schneiden. Bei einer Mehrzahl von brechenden Flächen trifft demnach jeder einfallende Lichtkegel die erste derselben (N^0) in einem ganz kleinen Kreis, jede folgende in einem etwas grössern, bis endlich sein Durchmesser demjenigen der Pupille annähernd gleichkommt. Die Lage dieses Kreises entspricht dem betreffenden Objectpunct; sein Abstand von der Axe nimmt mit dem Abstand des letztern ab und zu.

Ist das Auge auf unendliche Entfernung eingestellt und folglich der Durchschnitt der einfallenden Lichtkegel mit den Hauptebenen der Pupillenöffnung gleich, dann ist der Oeffnungswinkel ω für die Mitte des Gesichtsfeldes, wie leicht einzusehen, durch die Formel bestimmt:

$$\tan \frac{\omega}{2} = r \cdot \frac{d}{2f},$$

worin d den Pupillendurchmesser und f die Brennweite bedeutet. Kleinere Oeffnungswinkel stehen also annähernd im umgekehrten Verhältniss zur Brennweite. Wird d zu 3^{mm} angenommen, so ergiebt die Rechnung beispielsweise folgende zusammengehörige Werthe:

Brennweite in Millimetern	2	3	4	5	6	10	12
Oeffnungswinkel	73°44'	53°8'	41°4'	33°24'	28°4'	17°4'	14°14'

Mit diesen Werthen stimmen natürlich annähernd auch die überein, die man unter übrigens gleichen Voraussetzungen für eine endliche Sehweite von 100—250^{mm} erhalten würde.

Befindet sich über der letzten Fläche des Systems eine Blendung, deren Oeffnung kleiner ist als die Pupille, so ist selbstverständlich die Grösse dieser Oeffnung maassbestimmend für die einfallenden Lichtkegel. Dasselbe gilt in gewissem Sinne auch für beliebige andere Blendungen, welche irgendwo zwischen die brechenden Flächen eingeschaltet werden; nur werden dadurch, wie man ohne Weiteres aus der Construction ersieht, zunächst die peripherischen Bündel ganz oder theilweise abgeschnitten, während die mittlern noch ungeschwächt durchgehen. Solche Blendungen bedingen demnach die Grösse des Gesichtsfeldes und verschmälern vorzugsweise die Lichtkegel, welche von den peripherischen Puncten desselben auf die Netzhaut gelangen.

2. Lichtstärke.

230 Wenn die optisch wirksamen Lichtkegel die Pupillenöffnung ganz aus-

füllen, was für die mittlern Objectpuncte ein gewöhnlicher Fall ist, so besitzen sie nach der letzten Brechung, wodurch ihr Convergenzpunct in die Entfernung der Sehweite gerückt wird, selbstverständlich denselben Oeffnungswinkel, wie diejenigen Lichtbündel, welche das Auge bei unmittelbarem Sehen empfängt. Die Lichtstärke des virtuellen Bildes ist in diesem Falle (abgesehen von den durch Reflexion oder Absorption verursachten Verlusten) nahezu der Einheit gleich, d. h. die Gegenstände werden durch das einfache Mikroskop ungefähr so hell gesehen, wie mit dem unbewaffneten Auge. Genauer wird die resultirende Helligkeit, wie beim zusammengesetzten Mikroskop, durch die Formel ausgedrückt:

$$v = \left(\frac{\omega}{\varrho m} \right)^2$$

worin v die Helligkeit, ω den Oeffnungswinkel des Systems, ϱ den Oeffnungswinkel des unbewaffneten Auges für eine bestimmte Sehweite und m die lineare Vergrößerungszahl für die nämliche Sehweite bezeichnet. Beträgt $\varrho = 4^\circ$, was z. B. bei einer Sehweite von 172^{mm} und einer Pupillenöffnung von 3^{mm} der Fall ist, so vereinfacht sich obiger Ausdruck, wenn der Grad als Einheit genommen wird, in $\left(\frac{\omega}{m} \right)^2$. Da nun die Vergrößerungszahlen, wenn man die Sehweite vom hintern Brennpunct an rechnet, sich wie die Tangenten der halben Oeffnungswinkel verhalten (indem beide im umgekehrten Verhältniss zu den Brennweiten stehen), so folgt daraus, dass die Lichtstärke um so kleiner ausfällt, je stärker die Vergrößerung. Einige Beispiele, in welchen die entsprechenden Werthe von ω und m zusammengestellt sind, mögen diese Abnahme veranschaulichen.

Brennweite	12	10	6	5	4	3	2
ω	14,2	17,1	28,1	33,4	41,1	53,1	73,7
m	14,3	17,6	28,6	34,4	43,0	57,3	86

3. Krümmung des Gesichtsfeldes.

Die sogenannte »Krümmung« des Gesichtsfeldes ist keineswegs durch 231 die Wölbung der Bildfläche, sondern durch die Ablenkung der ins Auge gelangenden Lichtbündel, resp. ihrer Axen, zu erklären. Hierüber gilt im Allgemeinen, was früher für die Ebenung des Gesichtsfeldes und die Wirkung der Ocularlinse gesagt wurde. Die spezielle Anwendung jener Betrachtungen auf die Cylinderloupe, das Doublet etc. ist um so leichter, als der Verlauf der einfallenden und ausfahrenden Strahlenbündel fast genau derselbe ist, wie beim Ramsden'schen Ocular. Der Convergenzpunct der ausfahrenden Bündel ist durch die Lage des beobachtenden Auges bestimmt; derselbe verhält sich aber zum Kreuzungspunct der rückwärts verlängerten einfallenden, wie ein Object zu seinem Bild, und kann daher

immer so gewählt werden, dass der letztere, wie beim Ocular, um c. 200^{mm} von den brechenden Flächen absteht. Die Uebereinstimmung ist alsdann eine vollkommene.

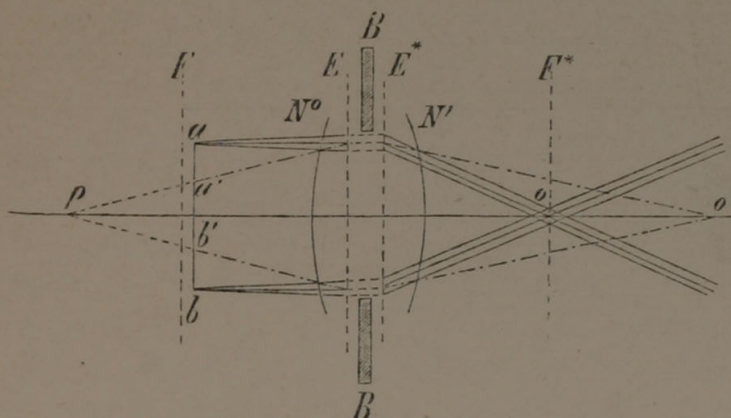
- 232** Um die Verzerrung des Bildes zu beseitigen, handelt es sich also in allen Fällen darum, die brechenden Flächen so zu combiniren, dass sie ein für die gegebenen Vereinigungsweiten, d. h. für die Abstände der genannten Kreuzungspunkte, möglichst aplanatisches System bilden. Die Wölbung der Bildfläche ist hievon unabhängig; sie rührt davon her, dass die Objectpunkte nicht gleich weit von den brechenden Flächenelementen abstehen.

4. Die Vergrößerungszahl.

Die Vergrößerungszahl ist durch die bekannte Formel gegeben: $m = \frac{f-p^*}{f}$ oder, da p^* hier negativ ist, $m = \frac{f+p^*}{f}$. Da nun p^* von der hintern Hauptebene an gerechnet werden muss, so ist einleuchtend, dass die Vergrößerung bei gegebener Sehweite um so geringer ausfällt, je weiter das Auge von dieser Hauptebene oder überhaupt vom Linsensystem absteht. Daher ist es im Allgemeinen Regel, das Auge so nah als möglich an die letzte brechende Fläche zu halten.

5. Die Grösse des Gesichtsfeldes.

- 233** Die Grösse des Gesichtsfeldes hängt bei einem gegebenen Linsensystem von der Oeffnung der Linsen und von der Lage des beobachtenden Auges ab. Je grösser der Abstand des letztern, um so kleiner ist das Gesichtsfeld. Ist wieder N^0 (Fig. 441) die erste und N' die letzte brechende Fläche des



Figur 441.

Systems, dessen Haupt- und Brennebenen in gewohnter Weise bezeichnet sind, und ist die Oeffnung desselben durch die Blendungen oder Fassungen BB bestimmt, so übersieht ein in o befindliches Auge das Object ab in seiner ganzen Ausdehnung, weil alle parallel mit der Axe einfallenden

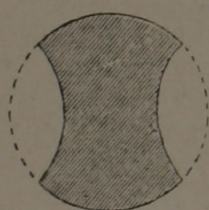
Lichtbündel nach o gebrochen werden. Befindet sich dagegen das Auge in o' , so können nur Lichtbündel dahin gelangen, welche unter sich divergi-

ren, so zwar, dass ihr Convergenzpunct p sich zu o' verhält, wie ein Object zu seinem Bild. Das Gesichtsfeld wird daher nothwendig kleiner als die Oeffnung des Systems; die äussersten Punkte, welche noch wahrnehmbar bleiben, sind a' und b' . Eine noch grössere Entfernung des Auges müsste natürlich auch eine stärkere Divergenz der einfallenden Lichtbündel und daher eine weitere Verkleinerung des Gesichtsfeldes zur Folge haben, während umgekehrt eine grössere Annäherung eine Vergrösserung des Gesichtsfeldes bedingen würde. Dass das letztere überdiess von der Oeffnung der Linsen abhängt und durch kleinere Blendungen reducirt wird, ist an und für sich klar.

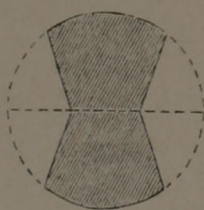
B. Die optische Einrichtung.

Wir gehen jetzt zur Aufzählung der bekanntern Formen über, welche 234 man in neuerer Zeit der Loupe und dem einfachen Mikroskop gegeben hat. Die Bemühungen des verflossenen Jahrhunderts mit zu besprechen liegt ausserhalb unserer Aufgabe; wir verweisen in diesem Betreff, wie überhaupt in Bezug auf die Geschichte des Mikroskops, auf das ausführliche Werk von Harting.

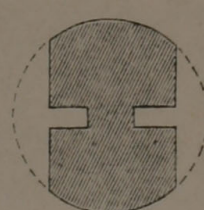
Brewster kam zuerst auf den glücklichen Gedanken, durch Einschleifen einer ziemlich tiefen Rinne in eine Glaskugel (Fig. 442) eine Loupe herzustellen, welche beinahe vollkommen aberrationsfreie Bilder liefert. Coddington erleichterte deren Herstellung, indem er der Rinne eine schärfere Form (Fig. 443) gab und die beiden Hälften der Kugel getrennt aus geeigneten Stücken planconvexer Linsen anfertigte, welche nachher mit ihren ebenen Flächen zusammengekittet wurden. Auf die



Figur 442.



Figur 443.

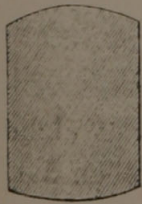


Figur 444.

Form der Rinne kommt es übrigens nicht an, und es ist einleuchtend, dass die in Fig. 444 dargestellte Construction dem beabsichtigten Zwecke eben-
sogut entspricht. Diese Coddington'schen Loupen (auch Coneopside oder Vogelaugenlinsen genannt), wie sie Lerebours in Paris in den Handel brachte, fanden allgemein eine beifällige Aufnahme; sie geben nach Mohl eine mehr als 20-fache Vergrösserung und sind aller Empfehlung werth. Dieselben leiden indess an zwei Unvollkommenheiten, welche bei manchen Untersuchungen sehr nachtheilig sind: das Gesichtsfeld ist nämlich sehr beschränkt und der Abstand des Focus von der untern Fläche nur ungefähr $\frac{1}{4}$

des Kugeldurchmessers. Wo es sich daher um den Ueberblick eines grössern Gegenstandes handelt, was in der Praxis der häufigste Fall ist, sind die neuern aplanatischen Linsencombinationen vorzuziehen. — Coddington'sche Loupen, aus einem einzigen Glascylinder gefertigt, sind im neuesten Preisverzeichniss von Nachet zu 5 Fr. angesetzt.

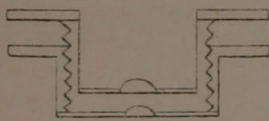
Mit den eben genannten sind auch die Cylinderloupen verwandt, welche namentlich in Deutschland seit längerer Zeit Verbreitung fanden. Dieselben bestehen aus einem cylindrischen Stück Glas, dessen beide Endflächen convex geschliffen, jedoch zur Verminderung der Aberration ungleich gekrümmt sind (Fig. 445). Gewöhnlich wird die schwächere Krümmung dem Object zugewendet. Die Cylinderloupen liefern et-



Figur 445.

was weniger vollkommene Bilder, als die Coddington'schen, und sind wie diese mit dem Nachtheil einer kurzen Focaldistanz behaftet; dessenungeachtet müssen sie immer noch zu den besten und wohlfeilsten Loupen gezählt werden. Kehrt man die stärkere Krümmung dem Objecte zu, so gewinnt man dadurch einen grössern Objectabstand; allein die Aberrationen sind in dieser Stellung merklich grösser und folglich die Bilder weniger scharf.

235 In neuester Zeit, etwa seit 1830, kamen die aus zwei oder drei Planconvexlinsen bestehenden Systeme, die sogenannten Doublets und Triplets mehr in Aufschwung. Zwar hatten sich schon frühere Optiker, namentlich Euler und John Herschel, vielfach mit solchen Linsencombinationen beschäftigt; allein bei der Unmöglichkeit, den Ergebnissen der Rechnung beim Schleifen der Linsen Genüge zu leisten, waren die theoretisch wohl begründeten Ansichten von geringer praktischer Bedeutung. Wollaston war der erste, welcher die Schärfe des Bildes mehr durch den relativen Abstand der Linsen, den er durch den Versuch bestimmte, als durch die genaue Form derselben, zu steigern verstand.



Figur 446.

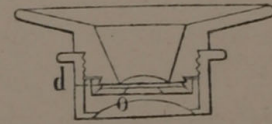
Seine Doublets bestehen aus zwei mit der ebenen Fläche nach unten gewendeten Planconvexlinsen, deren Brennweiten sich ungefähr wie 3 zu 1 verhalten, und welche so übereinander geschraubt sind, dass der Abstand der ebenen Flächen c. 4,5 der

kürzern Brennweite (Fig. 446) beträgt. Der Beifall und die Aufmerksamkeit, welche diese Doublets erregten, führten bald zu weitem Verbesserungen.

Pritchard fand, dass die günstigste Entfernung der beiden Linsen der Differenz ihrer Brennweiten gleich sei, dass aber diese letztern innerhalb gewisser Grenzen (z. B. zwischen dem Verhältniss 1:3 und 1:6) variiren können. Er verfertigte Doublets, deren Leistungen nach Mohl in Hinsicht auf Klarheit und Schärfe des Bildes bis zu einer Vergrösserung von c. 200 Mal überraschend sind, und wovon die schwächern sich ganz besonders dazu eignen, um unter ihnen zu präpariren. Die stärksten,

welche etwas über 300 Mal vergrössern, lassen die 6te Gruppe der N Robert'schen Probetäfelchen (mit 30 Gruppen) noch deutlich erkennen.

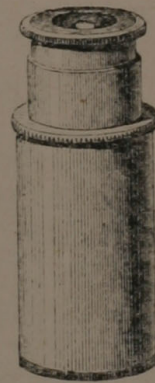
Chevalier stellte zwei planconvexe Linsen von gleicher Brennweite, aber ungleicher Grösse (Fig. 447) sehr nahe und zwar so übereinander, dass die grössere dem Object zugekehrt war. Zwischen beiden befand sich ein Diaphragma d mit der Oeffnung o . Chevalier erzielte dadurch eine grössere Lichtstärke und zugleich einen grössern Abstand des Objects von der ersten brechenden Fläche. Um diesen Abstand bei schwächern Vergrösserungen, wie sie beim Präpariren auf dem Objecttisch benutzt werden, noch mehr zu steigern, brachte er über dem Doublet eine achromatische Concavlinse an, welche nicht bloss dem beabsichtigten Zweck entspricht, sondern auch die Vergrösserung etwas verstärkt, — eine Einrichtung, welche späterhin auch Brücke*) für seine achromatische Stativloupe (Fig. 448) benutzte.



Figur 447.

Die Doublets von Chevalier halten den Pritchard'schen, nach den Beobachtungen Harting's zu schliessen, so ziemlich die Waage. Bei einer 48-maligen Vergrösserung waren auf dem N Robert'schen Probetäfelchen die Striche der ersten Gruppe, bei einer 347-maligen die der 6ten Gruppe erkennbar.

Die beiden genannten Optiker verfertigten überdiess auch Triplets, deren Construction im Wesentlichen auf dem nämlichen Princip beruht. Dieselben bestehen aus drei planconvexen Linsen von verschiedener Brennweite und geben, wenn auf die Herstellung die nöthige Sorgfalt verwendet wurde, noch etwas schärfere Bilder als die Doublets.



Figur 448.

Es lässt sich nicht läugnen, dass die Wollaston'sche Idee, das Haupt- 236 augenmerk auf die relativen Abstände der Linsen zu richten, für die praktische Optik eine höchst glückliche war und in einem Zeitraum von wenigen Jahren zu wesentlichen Verbesserungen führte. Das Doublet erreichte einen Grad der Vollkommenheit, welcher auch gegenwärtig noch in manchen praktischen Fällen vollkommen genügt. Allein die besten Combinationen dieser Art leiden doch immer in sehr erheblichem Grade an mangelhafter Verbesserung der sphärischen und insbesondere der chromatischen Aberration**), was natürlich um so fühlbarer wird, je stärker die Vergrös-

*) Sitzungsberichte der k. k. Akad. zu Wien 1831. Bd. VI. p. 334. — Diese Brückesche Loupe ist in den Preisverzeichnissen von N a c h e t, S c h i e c k, Z e i s s, L e i t z und P l ö s s l besonders aufgeführt. Obige Figur ist dem Katalog von N a c h e t entnommen.

**) Die chromatische Aberration durch eine Verbindung von 2 oder mehreren planconvexen Linsen zu beseitigen, ist principiell unmöglich; durch richtige Wahl der relativen Abstände wird höchstens der Parallelismus der rothen und violetten Strahlenbündel, resp. ihrer Axen, hergestellt, wie diess bereits bei Besprechung der Oculare erörtert

serung. Sie stehen daher den neuern achromatischen Systemen hinsichtlich des optischen Vermögens entschieden nach. Ihre praktische Verwendbarkeit beschränkt sich gegenwärtig fast nur noch auf die Loupe und das Präparirmikroskop, wo sie bis zu einer Vergrößerung von circa 60—100 Mal in der That auch ganz brauchbar sind; allein es scheint, dass sie auch auf diesem Felde den aplanatischen Systemen mit der Zeit weichen müssen, da diese letztern bereits bis zu den schwächsten Vergrößerungen von circa 5—10 Mal vielfach in Gebrauch sind.

237 Zur Vergleichung der Leistungen neuerer Doublets und Loupen theilen wir nachstehend einige Beobachtungen mit, welche in derselben Weise, wie bei der Prüfung des zusammengesetzten Mikroskops, angestellt wurden. Die Brennweiten und Objectabstände (für die Cylinderloupen die den beiden Stellungen entsprechenden) sind in Millimetern angegeben.

	Bezeichnung.	Brennweite der vordern Linse.	Brennweite der hintern Linse.	Gesamt- brennweite.	Object- abstand.	Vergrößerung bei 25 Cent. Schweite.	Durchm. eben noch erkenn- barer Maschen in Mik.
Zeiss	30	12,2	17	7,3	5,3	33	3,85
"	60	5,2	8,5	3,78	2	64	2,3
"	120	2,53	4,25	1,72	—	140	1,3
"	Triplet	0,92	2,3; 3,7	0,73	—	330	0,7
"	Loupe	40	38	21	11	12	17
Bénèche	Nr. 1	23,25	23,25	12,5	8,5	19	6,7
"	Nr. 2	8,09	23,25	6,68	3,8	36	3,5
"	Nr. 3	5,22	11,75	3,93	2,5	62	2,3
—	Cylinder- loupe	—	—	18,5	{ 8,5 } { 10 }	13,5	16
—	Cylinder- loupe	—	—	14	{ 6 } { 8 }	18	12
—	Loupe	—	—	44	39	4,5	32

Wie man aus dieser Zusammenstellung ersieht, leisten die Doublets von Zeiss und Bénèche nicht viel weniger, als ein zusammengesetztes Mikroskop mit gleich starker Gesamtvergrößerung. Das Triplet von Zeiss hält sogar den Objectiven Nr. 7 von Hartnack und Nr. 9 von Bénèche — diese bei c. 4-maliger Ocularvergrößerung geprüft — das Gleichgewicht; es zeigt auch die Querstreifen von *Pleurosigma attenuatum* bei geradem

wurde. Eine Kreuzung der optisch wirksamen Strahlenbündel zwischen den brechenden Flächen findet nicht statt. In dieser Beziehung ist die Darstellung Harting's (Mikr. p. 113 u. Fig. VIII der beigegebenen Tafel) durchaus unrichtig, weil der von ihm angenommene Strahlenverlauf für das beobachtende Auge nicht existirt. Wie sollten auch die austretenden Lichtbündel, wenn sie so stark divergiren, wie in der citirten Figur, durch eine Pupille von 2—3^{mm} Durchmesser auf die Netzhaut gelangen?

Licht mit wenigstens gleicher Deutlichkeit. Doch gilt das alles nur für den Fall, dass das Object genau in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht wird; in jeder andern Lage ist das Bild unbrauchbar. Dazu kommt, dass das Sehen durch eine kleine Blendung von nur 0,7^{mm} Durchmesser, wie sie Zeiss bei seinen Triplets sowohl als bei den stärksten Doublets über den Linsen anbringt, sehr bald ermüdet. Die Preise betreffend, so sind zwar die Doublets beträchtlich billiger, als achromatische Objective; sie werden von Zeiss zu 6—9 Mark, Triplets von 200—300facher Vergrößerung zu 18—24 Mark geliefert, während ein Objectivsystem von gleicher Stärke immerhin doppelt so viel kostet. Allein ein vollständig ausgestattetes einfaches Mikroskop kommt dessenungeachtet auf 48 Mark (bei Plössl auf 65 fl. österr. W.) zu stehen, so dass der Unterschied gegenüber einem mit achromatischen Linsen ausgerüsteten Instrument oder einem kleinen Compositum kaum noch ins Gewicht fällt.

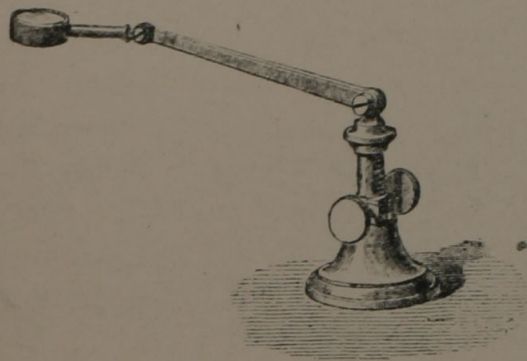
C. Die mechanische Einrichtung.

Ueber die Fassungen der Linsen und Linsensysteme, sowie ferner die 238
Vorrichtungen, welche zu ihrer Befestigung dienen, können wir uns kurz fassen, da in diesem Punct jedes namhafte optische Institut allen Anforderungen, die man billiger Weise stellen kann, genügt. Es versteht sich von selbst, dass der Beobachter unter den mancherlei Formen und Einrichtungen, welche käuflich zu haben sind, sich diejenige auszuwählen hat, welche dem Gebrauche, den er davon zu machen beabsichtigt, am besten entspricht. Wer ganz spezielle Zwecke verfolgt, dem kann man es füglich überlassen, sich einen geeigneten Apparat selbst auszudenken und herzustellen.

Die Loupen Träger, welche in mikrographischen Werken beschrieben sind, stimmen alle darin überein, dass sie mit einem beweglichen, oft mit Gelenken versehenen Arm ausgestattet sind, welcher auf einem Kästchen oder an einer senkrechten Stange dergestalt befestigt ist, dass sein freies Ende, welches die Loupe trägt, durch Drehen oder Verschieben in jede beliebige Lage gebracht werden kann. Eines der zweckmässigsten Gestelle dieser Art, das in den meisten Fällen ein complicirteres Stativ ersetzt, scheint uns das von Mohl (Mikr. p. 35) empfohlene zu sein. Es ist ein Kästchen von etwa 15—20 Centimeter Länge auf 8 Centimeter Breite und Höhe, welches auf der dem Fenster zugewendeten Seite offen ist und einen Planspiegel enthält, der mittelst eines auf der rechten Seite hervorragenden Knopfes um eine horizontale Axe gedreht werden kann. Auf der oberen Seite ist eine durch eine Glasplatte zu verschliessende Oeffnung angebracht; ein mit zwei Charnierringen versehener, am Kästchen angeschraubter Arm trägt die Loupe. — Ein einfacher Loupen Träger neuerer

Construction, wie ihn Nachet zu 15 Fr. und ohne Trieb zu 8 Fr. liefert, ist in Fig. 149 dargestellt.

Das Stativ des einfachen Mikroskops lässt natürlich ebenfalls mannigfache Modificationen zu. Die Haupterfordernisse, welche der Optiker im Auge zu behalten hat, sind etwa folgende: 1) ein feststehender, nicht zu

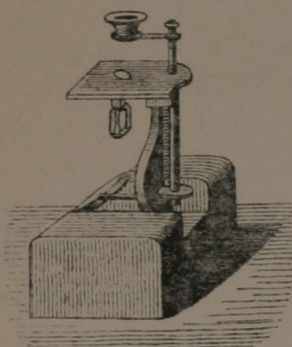


Figur 149.

kleiner Objecttisch, auf welchem eine Klemmfeder oder eine andere geeignete Vorrichtung zum Festhalten der Objectträger anzubringen ist; 2) ein Fussgestell, welches den Händen während der Zergliederung auf dem Objecttisch einen bequemen Stützpunkt bietet; 3) eine passende Vorrichtung zur scharfen Einstellung, wobei die Linse gegen das Object und nicht umgekehrt

dieses gegen jene beweglich sein soll; 4) ein zweckmässiger Beleuchtungsapparat, welcher nöthigenfalls Lichtkegel zu liefern vermag, die die Oeffnung des Linsensystems oder die Pupille des beobachtenden Auges ganz ausfüllen.

239 Die Einzelheiten der Einrichtung können wir um so eher mit Stillschweigen übergehen, als das Urtheil hierüber in den meisten Puncten doch nur von Liebhaberei und Gewohnheit abhängt, also ein rein individuelles ist. Wir beschränken uns darauf, einige der bekannteren Stative in Kürze zu beschreiben und durch Abbildungen zu veranschaulichen; der Leser mag Lob oder Tadel nach eigenem Ermessen selbst hinzufügen.



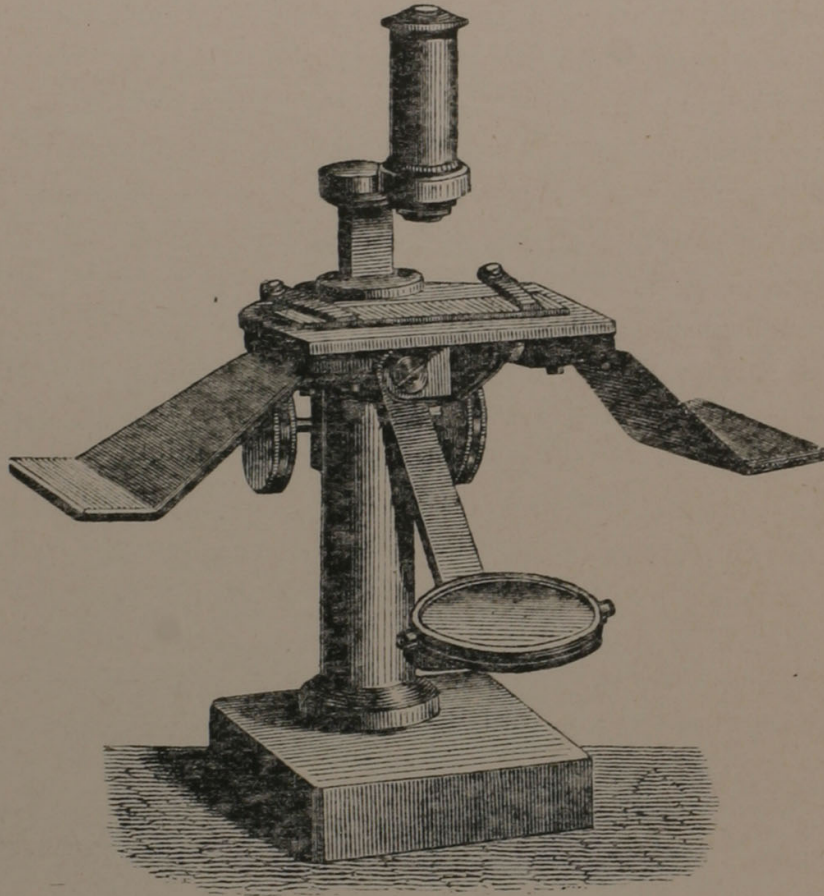
Figur 150.

Carl Zeiss in Jena giebt seinen kleineren Präparirmikroskopen, die schon seit Jahren rühmlichst bekannt sind, einen ziemlich schweren Holzfuss, der beiderseits eine hervorragende Backe zum Auflegen der Hände besitzt (Fig. 150). Ueber dem Beleuchtungsspiegel ist eine Convexlinse angebracht, welche seitlich verschoben werden kann. Der Tisch ist feststehend und die Einstellung doppelter Art. — Ausserdem verfertigt Zeiss seit einigen Jahren ein »grosses Präparirmikroskop«, dessen optisches System aus drei achromatischen Linsen und einem concaven Ocularglase besteht, während das Stativ (Fig. 151) dem

Dissectionsmikroskop von Nachet nachgebildet ist. Der Objectabstand ist so gross, dass selbst bei 150facher Vergrösserung noch bequem mit Nadeln präparirt werden kann. *)

*) Vgl. die Anzeige und Beschreibung dieses Instruments im Archiv f. mikrosk. Anat. VI, p. 234 (1870).

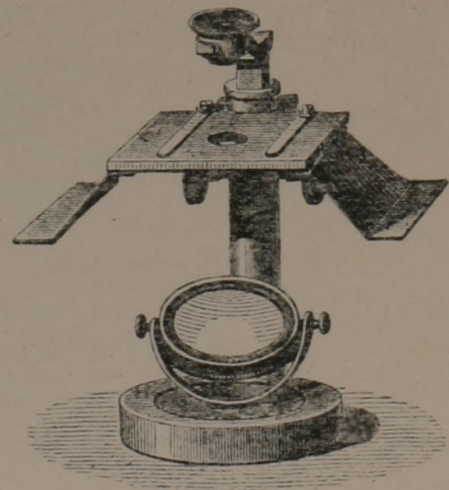
Bénèche in Berlin führt ein Holzstativ nach Zeiss, bei welchem die gröbere Einstellung durch Auf- und Niederbewegung des Linsenarmes, die



Figur 151.

feinere durch Mikrometerbewegung nach Nobert geschieht; ferner ein etwas anders construirtes, mit flachem zum Transport bequemen Kasten als Fuss und einem Triebwerk zur groben und feinen Einstellung. Mit diesem letztern stimmt im Wesentlichen auch das einfache Mikroskop von Schieck in Berlin überein.

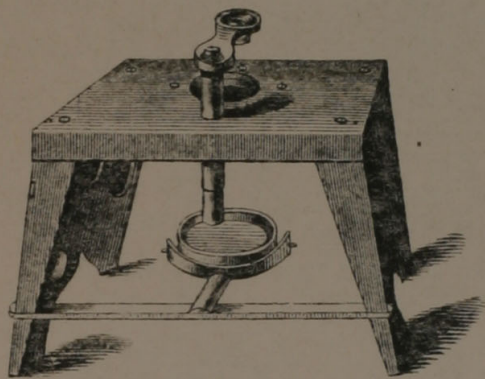
Das Stativ von S. Plössl u. Comp. in Wien hat einen runden Metallfuss und eine dreiseitige Stange, in deren hintere Seite die Säge für den Trieb eingelassen ist. Der Objecttisch ist viereckig und wird durch den Trieb gegen die feststehende Linse bewegt; auf seiner oberen Seite ist eine hufeisenförmige Federklammer angebracht, welche durch eine Spiralfeder nach unten gezogen wird. Zur Beleuchtung dient ein kleiner Concavspiegel. — Dasselbe Stativ wird auch zum Aufschrauben auf den Deckel des Kästchens eingerichtet, das alsdann als Fussgestell dient.



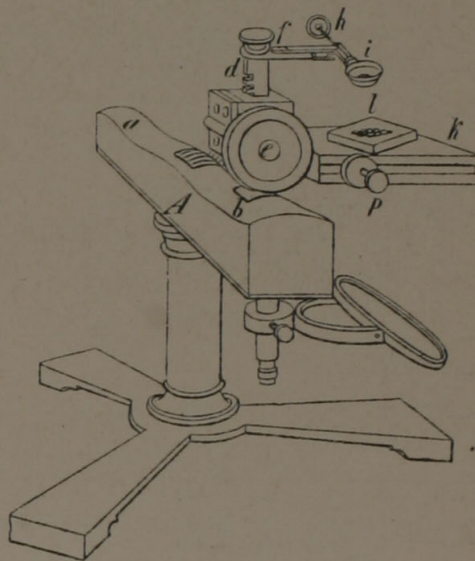
Figur 152.

240 Das Dissectionsmikroskop von Nachet und Sohn in Paris ist in Fig. 152 dargestellt. Die Einstellung geschieht durch ein Getriebe, welches die Linsen auf und nieder bewegt. Zwei am Objecttisch angebrachte Flügel dienen zum Auflegen der Hände während des Präparirens. — Daneben fertigt Nachet noch ein binoculäres Präparirmikroskop (*microscope binoculaire de dissection*), welches stereoskopische Bilder liefert.

Unter der grossen Anzahl von Stativen, welche von englischen Optikern ausgeführt werden, wollen wir hier nur zwei ihrer Eigenthümlichkeit wegen hervorheben: das eine mit sehr einfacher, das andere mit sehr complicirter Einrichtung. Einfach und zweckmässig ist das Taschen- und Dissectionsmikroskop von Quekett (Fig. 153) zu nennen. Dasselbe hat, wenn es eben gebraucht wird, die Form eines quadratischen Schemels mit keilförmigen Seitentheilen, welche das Fussgestell bilden. Diese Füsse sind durch Charniergelenke mit der Objectplatte verbunden und können nach Wegnahme des Spiegels nach innen zusammengeschlagen werden, so dass sie einander decken. Auf ihrer Innenseite und auf der Unterseite des Tisches befinden sich Ausschnitte, welche zur Aufnahme des Spiegels und der Linsen dienen. Ist das Instrument zusammengelegt, so beträgt seine Höhe circa 40^{mm}, seine Länge und Breite circa 14 Centimeter.



Figur 153.



Figur 154.

Als Beispiel eines complicirten Stativs mag hier dasjenige von Pritchard in London (welches übrigens noch keineswegs zu den complicirtesten gehört) Erwähnung finden. Dasselbe hat einen schweren Dreifuss mit fester, runder Messingsäule (Fig. 154), womit die übrigen Theile des Instruments verbunden sind. Auf der Säule ruht ferner ein Holzkolben A, welcher zum Auflegen der Hände bestimmt und zu diesem Ende beiderseits bei a und b etwas ausgehöhlt ist. Der viereckige Objecttisch k hat einen durch zwei hervorragende Knöpfe p verschiebbaren Schlitten und

trägt ein kleines Kästchen *l* mit Glasboden, in welches die zu präparirenden Objecte kommen. Die Einstellung geschieht durch Hebung oder Senkung des Linsenarmes *f* mittelst Zahn und Trieb (*d* und *e*). Der Linsenarm selbst ist in einer horizontalen Ebene drehbar und am Ende *h* zum Ueberfluss mit einem Kugelgelenk versehen, wodurch sein vorderes Ende, das die Linsen *i* trägt, nach allen Richtungen beweglich wird.

Die übrigen Gestelle, welche in England verfertigt werden, stimmen entweder mit den bereits beschriebenen in der Hauptsache überein oder sind zu complicirt, als dass sie in Deutschland Verbreitung finden könnten.

II.

Das Bildmikroskop.

Was nun noch die Bildmikroskope betrifft, so brauchen wir hier- 241
über nicht viel Worte zu machen. Die einzige Bedeutung, die sie wenigstens indirect für die Wissenschaft haben, besteht darin, dass sie das vergrößerte Bild eines Gegenstandes vielen Zuschauern auf einmal vorzuführen gestatten, was allerdings bei Vorlesungen vor einem grössern Publicum ein nicht unerheblicher Vorzug ist. Ihre Anwendbarkeit beschränkt sich indess auch hiebei vorzugsweise auf Objecte, welche mit dem zusammengesetzten Mikroskop schon bei schwächerer Vergrößerung deutlich gesehen werden; feinere Structurverhältnisse, welche stärkere Objective erfordern, werden im Bilde nicht scharf genug wiedergegeben, um sie Unkundigen demonstrieren zu können. Es gilt diess namentlich für den Fall, dass die Beleuchtung durch elektrisches Licht oder durch das Drummond'sche Kalklicht vermittelt wird, welche beide dem directen Sonnenlicht an Intensität bedeutend nachstehen. Ueberdiess ist der Gebrauch des Instruments mit mancherlei Umständlichkeiten verknüpft, welche den practischen Werth desselben wesentlich beeinträchtigen. Wir halten desshalb gute Abbildungen zum Zwecke der Demonstration immer noch für geeigneter, als die verschwommenen Bilder eines elektrischen oder Gasmikroskops. Einen relativ günstigen Eindruck haben uns bis dahin nur die Leistungen ganz schwacher Objective, insbesondere die Vergrößerungen nach Photographien auf Glas gemacht.

Die Objective der Bildmikroskope haben genau dieselbe Einrichtung, wie die der zusammengesetzten Mikroskope; nur werden die Flint- und Kronglaslinsen gewöhnlich nicht mit Canadabalsam zusammengekittet, weil dieses Verbindungsmittel durch die Wärme, welche die Beleuchtung verursacht, getrübt werden könnte. Indessen bemerkt Mohl, dass er gewöhnliche Objective ohne Schaden im Sonnenmikroskop angewendet und

dass auch Plössl ihm geschrieben habe, er hätte nicht gefunden, dass das Zusammenkitten Schaden verursache.

Die mechanische Einrichtung des Beleuchtungsapparates ist natürlich je nach der Lichtquelle, die man benutzt, verschieden. Wir glauben indess auf eine Beschreibung derselben um so eher verzichten zu dürfen, als die in neuerer Zeit gebräuchlichen Apparate in jedem vollständigeren physikalischen Lehrbuch in Kürze besprochen sind und eine ausführliche Auseinandersetzung derselben, die jedenfalls mit zahlreichen Abbildungen begleitet sein müsste, um verständlich zu sein, nicht in unserer Aufgabe liegt.

Sechster Abschnitt.

Mikroskopische Technik.

I.

Der Gebrauch des Mikroskops.

Es liegt in der Natur der Sache, dass die mancherlei Regeln und **242** Kunstgriffe, deren Kenntniss die mikroskopische Beobachtung voraussetzt, sich immer am leichtesten durch die practische Unterweisung lehren und lernen lassen, und dass auch hiebei die eigene Uebung, die der Anfänger sich nach und nach erwirbt, stets die Hauptsache bleibt. Eine Anleitung durch das geschriebene Wort, wie wir sie hier zu bieten versuchen, scheint uns aber trotzdem nicht ganz überflüssig, da sie Denjenigen, welche jene practische Schule in ungenügender Weise oder gar nicht genossen haben, immerhin einigen Ersatz gewähren und manchen Missgriff ersparen wird. Alles, was sich auf spezielle Untersuchungen aus dem Gebiete der Anatomie, Morphologie etc., auf die Anwendung der Reagentien u. dgl. bezieht, glauben wir indess zweckdienlicher für die betreffenden Kapitel aufzusparen, so dass uns hier nur einige allgemeinere Fragen zur Besprechung übrig bleiben.

1. Die Beleuchtung.

Für jede mikroskopische Untersuchung ist zunächst eine günstige Be- **243** leuchtung von Wichtigkeit. Da dieselbe zum Theil von der Lage des Arbeitszimmers abhängt, so ist die Wahl des letztern wo möglich so zu treffen, dass ein grösserer Theil des Himmels als Lichtquelle benutzt werden kann, ohne dass directes Sonnenlicht mit wirksam würde. Am geeignetsten ist natürlich ein Local mit Nordlicht und freier Aussicht, oder ein nach zwei Seiten mit Fenstern versehenes Eckzimmer, in welchem alsdann je nach dem Stand der Sonne die eine oder andere Seite in Gebrauch kommt. Reflectirtes Licht von gegenüberliegenden Gebäulichkeiten kann zwar unter Umständen ganz brauchbar sein, doch beschränkt sich seine Anwendbarkeit im günstigsten Fall auf bestimmte Tageszeiten. Dess-

halb sind in den Strassen der Städte die obern Stockwerke der Häuser, welche die Strahlung des hellen Himmels bis in die Nähe des Horizontes zu verwerthen gestatten, vorzuziehen und Parterrewohnungen in engen Gassen gänzlich zu vermeiden.

Der zur Beleuchtung günstigste Zustand des Himmels ist nach unserem Dafürhalten eine gleichmässige hellgraue Bewölkung; das reine Blau giebt zwar ebenfalls ein ganz angenehmes Licht, ist jedoch für die stärksten Objective nicht intensiv genug, um ihre ganze Kraft zu entwickeln. In schwierigeren Fällen leistet daher bei klarem Himmel eine weisse oder gelblichweisse, von der Sonne beschienene Wand bessere Dienste. Am ungünstigsten sind rasch vorüberziehende helle Wolken, weil das Auge bei dem fortwährenden Wechsel der Helligkeit und Farbe rasch ermüdet. Ebenso ist das blendende Licht, welches von der unmittelbaren Umgebung der Sonne ausgeht, zu vermeiden, oder wenn kein besseres zur Verfügung steht, durch Vorziehen weisser Rideaux oder Gardinen zu dämpfen.

244 In Betreff der Aufstellung des Mikroskops findet man gewöhnlich angegeben, eine Entfernung von 6—9 Fuss vom Fenster sei in schwierigen Fällen der gewöhnlichen von c. 3 Fuss vorzuziehen, weil dadurch ein günstigerer Lichteffect erzielt werde. Nach dem, was oben über die Beleuchtung mitgetheilt wurde, kann jedoch die Entfernung vom Fenster offenbar nur dann von irgend einem Einfluss sein, wenn dadurch die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels bedingt wird, was bei Anwendung kleiner Blendungen, wie man sie gewöhnlich für stärkere Vergrösserungen gebraucht, nicht der Fall ist. Wendet man schiefes Licht an, so muss unter allen Umständen, die Entfernung mag grösser oder kleiner sein, dafür gesorgt werden, dass das vom Tisch und Stativ reflectirte Licht abgehalten wird, was am besten durch besonders hiefür bestimmte Blendungen mit seitlichen Oeffnungen oder auch durch seitliche Verschiebung der Blendungsöffnungen geschieht. Eben so nothwendig ist bei manchen Untersuchungen der Ausschluss des von oben auf das Object einfallenden Lichtes, sei es nun durch Vorhalten der Hand oder mittelst eines Schirmes, weil dasselbe sowohl die Annehmlichkeit, als auch die Sicherheit der Beobachtung beeinträchtigt. Kurz, die Beleuchtung muss in allen schwierigen Fällen so regulirt werden, dass ausser dem einfallenden Lichtkegel von bestimmter Oeffnung und Neigung kein anderes Licht das Gesichtsfeld erreicht.

Welche Oeffnung oder Neigung des einfallenden Lichtkegels die günstigste sei, muss natürlich in jedem gegebenen Falle durch Probiren ermittelt werden. Man dreht oder verstellt den Spiegel und nöthigenfalls das ganze Instrument, indem man gleichzeitig durchs Ocular sieht, nach verschiedenen Richtungen und beobachtet dabei die Wirkung grösserer und kleinerer Blendungen oder bewegt dieselben, wenn die Einrichtung des Stativs diess gestattet, in der Richtung der Axe auf und nieder.

Diese Versuche setzt man fort, bis man die günstigste Art der Beleuchtung ermittelt hat. Als Regel gilt im Allgemeinen, dass Streifungen, Liniensysteme u. dgl. am deutlichsten hervortreten, wenn das Licht möglichst schief darauf einfällt, wobei unter allen Umständen die gegenseitige Stellung von Spiegel und Object so gewählt werden muss, dass die Richtung der einfallenden Strahlen auf den Streifungen senkrecht steht.

Da die Lichtquelle in den meisten practischen Fällen eine begrenzte oder ungleichmässig leuchtende ist, so liefert der Concavspiegel aus früher angegebenen Gründen in der Regel ein intensiveres Licht als der Planspiegel, d. h. er bedingt bei gleicher Oeffnung des einfallenden Lichtkegels eine grössere Helligkeit des Gesichtsfeldes. Bei starken Vergrösserungen bietet daher der Concavspiegel entschiedene Vortheile; bei schwächern kann man des Guten auch leicht zu viel thun, weil ein zu grell erleuchtetes Gesichtsfeld die Augen angreift und rasch ermüdet. Die Anwendung von Beleuchtungslinsen oder Condensatoren ist in den meisten Fällen, wenn anders der Spiegel hinreichend gross ist und ziemlich nahe gerückt werden kann, überflüssig; sie hat nur da einen Sinn, wo man die Oeffnung des einfallenden Lichtkegels zu vergrössern beabsichtigt.

Wendet man auffallendes Licht zur Beleuchtung an, so genügt 245
es in den meisten Fällen, das Mikroskop dem Fenster soviel als möglich zu nähern, indem dadurch eine ziemlich ausgedehnte Fläche der Lichtquelle wirksam gemacht wird. Bei Vergrösserungen, welche über 100—120 Mal hinausgehen, ist die Anwendung einer Beleuchtungslinse oder des Lieberkühn'schen Spiegels zu empfehlen. In einzelnen Fällen mag auch directes Sonnenlicht, das man durch Schiefhalten des Mikroskopstativs unmittelbar zwischen Objectiv und Object einfallen lässt, mit Vortheil zur Anwendung kommen; wir bezweifeln indess die Richtigkeit der Schacht'schen Angabe, dass man auf diese Weise die drei Liniensysteme von *Pleurosigma angulatum* bei gleicher Vergrösserung deutlicher sehe, als mit gewöhnlichem durchfallendem Lichte, und möchten überhaupt die genannte Beleuchtungsmethode für transparente Objecte nicht empfehlen.

Künstliche Beleuchtung durch Lampenlicht ist bei zweckmässiger Dämpfung desselben durch mattgeschliffenes oder kobaltblaues Glas für manche Untersuchungen ganz brauchbar, greift jedoch die Augen immer etwas mehr an, als das jedenfalls weit angenehmere Tageslicht. Schon um desswillen sollte es sich Jeder, dem die Augen lieb sind, zur Regel machen, anhaltendere mikroskopische Beobachtungen auf den Tag zu beschränken. Nur wo, wie in England und im nördlichen Europa, das trübe Tageslicht oft für längere Zeit nicht mehr ausreicht, bleibt schlechterdings kein anderer Ausweg, als eine möglichst günstige künstliche Beleuchtung herzustellen. Dass hiebei die Brennweite des Hohlspiegels oder der Beleuchtungslinse mit zu berücksichtigen ist, wenn die Convergenz der einfallenden Strahlen ein Maximum erreichen soll, bedarf nach dem früher Gesagten

keiner Erörterung. — In den Katalogen einzelner Firmen, wie Hartnack und Prazmowski, Plössl und Comp., sind Mikroskopirampen mit grosser Sammellinse besonders aufgeführt. Man erreicht übrigens denselben Zweck mit einer gewöhnlichen Moderateur- oder Petroleumlampe, indem man statt der Linse eine mit sehr verdünnter Kupferoxydammoniaklösung gefüllte Schusterkugel vor die Flamme stellt. Das so erzielte Licht ist nach dem Urtheil Sachverständiger für das Auge angenehm und zum Mindesten einer trüben Tagesbeleuchtung ebenbürtig *).

2. Die Wahl der Vergrösserung.

246 Das zu untersuchende Präparat wird zur vorläufigen Orientirung zweckmässig zuerst bei schwacher Vergrösserung betrachtet, weil man dadurch einen bessern Ueberblick über das vorhandene Material gewinnt und sich die besten Stellen der Schnitte oder die günstigsten Objecte zur genauern Beobachtung bequem herausuchen kann. Ist das schwächste Objectivsystem, welches zur Verfügung steht, noch zu stark, so kann eine weitere Verkleinerung des Bildes durch Verkürzung der Mikroskopröhre oder auch durch Abschrauben der vordern Objectivlinsen erzielt werden. Die Schärfe des Bildes erfährt jedoch in letzterem Falle, wenn das Objectiv nicht besonders hiefür construirt ist, eine merkliche Abnahme.

Geht man zu stärkern Vergrösserungen über, so vergesse man nicht, dass das optische Vermögen vorzugsweise von der Brennweite der Objective, nicht von der Stärke der Oculare abhängt. Die Anwendung starker Oculare, d. h. solcher, welche 40 Mal und darüber vergrössern, gewährt in der Regel nur in solchen Fällen noch einige Vorthelle, wo es sich um die Bestimmung von Formverhältnissen oder um die Vergleichung sehr kleiner Abstände handelt. Neue Details im Bilde wird man damit um so weniger wahrnehmen, je unvollkommener das Objectiv und je länger die Mikroskopröhre; die allerstärksten Nummern zeigen sogar in den meisten Fällen entschieden weniger, als die vorausgehenden schwächern.

Welche Vergrösserungen sich für eine bestimmte Arbeit am besten eignen, wird Jeder, welcher das Mikroskop zu wissenschaftlichen Zwecken gebrauchen will, sehr bald beurtheilen lernen. Dass Immersionssysteme und andere von gleicher Stärke nur in ganz speziellen Fällen, wo es sich um schwer zu erkennende Einzelheiten der Structur u. dgl. handelt, Anwendung finden, ist an und für sich klar.

3. Vom Gebrauch der Deckgläser.

247 Die meisten mikroskopischen Präparate werden in Wasser oder in

*) Vgl. Strasburger, Ueber Zellbildung und Zelltheilung, p. 33.

irgend einem andern flüssigen Medium untersucht, sei es, dass man damit bloss die Ablenkung der Lichtstrahlen verringern oder aber die Erhaltung des Objects in einem bestimmten Zustande — trocken, weich, aufgequollen etc. — erzielen wolle. Da nun diese Flüssigkeiten, wenn die Gegenstände nicht darin untergetaucht sind, die bekannten Adhäsionserscheinungen zeigen und in Folge dessen eine sehr unebene Oberfläche erhalten, so ist es für stärkere Vergrösserungen schon aus optischen Gründen nothwendig, Deckgläschen anzuwenden, welche die Oberfläche ebnen. Ueberdiess wird dadurch ein zu rasches Verdunsten der Flüssigkeit und das Beschlagen oder Eintauchen der Linsen in dieselbe vermieden. Bei schwächern Vergrösserungen kann dagegen das Präparat auch unbedeckt bleiben, und es ist sogar in manchen Fällen, namentlich wenn man noch eine weitere Zergliederung desselben vornehmen will, ganz zweckmässig, es nicht zu bedecken.

Sind die Präparate der Art, dass es von Nutzen sein kann, dieselben umzukehren und von der untern Seite zu betrachten, so thut man am besten, sie zwischen zwei grössere Deckplättchen zu bringen, die dann nach Belieben gewendet werden. Dieses Verfahren gewährt beim Studium übereinander liegender Zellschichten oder auch beliebiger anderer Objecte, deren räumliche Anordnung man kennen lernen will, oft wesentliche Vortheile.

Die Dicke der Deckgläschen ist für schwächere Objective ziemlich gleichgültig; die Wahl hat sich also mehr nach andern Rücksichten, wie z. B. nach dem Druck zu richten, den man auf das Präparat ausüben will. Stärkere Systeme sind dagegen meist für dünne Deckgläschen construirt und erfordern, sobald die Dicke $\frac{1}{2}$ mm und darüber beträgt, eine Correction. Bei ganz starken Objectiven sind schon wegen der äusserst geringen Focaldistanz nur die dünnsten Deckgläschen anwendbar.

Wo es darauf ankommt, das Präparat vor jedem noch so geringen Druck zu schützen, wird irgend ein geeigneter Gegenstand, wie z. B. ein Haar, eine Borste, ein Stück Papier oder Stanniol u. dgl. unter das Deckgläschen gebracht, wobei natürlich der Objectabstand des Mikroskops mit zu berücksichtigen ist. Der Anfänger macht oft genug die Erfahrung, dass die Einstellung auf das zu untersuchende Object durch die beträchtliche Dicke der Flüssigkeitsschicht, welche darüber liegt, unmöglich gemacht wird, und bei sehr starken Objectiven kann dasselbe auch dem Geübten passiren. Zur Vermeidung dieses Uebelstandes ist es in der Regel vortheilhafter, das Deckglas nur mit dem einem Rande aufzulegen und hierauf nöthigenfalls soweit zu verschieben, bis sich das Object an einer hinreichend dünnen Stelle der keilförmigen Wasserschicht befindet.

Dass die Deckgläschen möglichst rein sein müssen und folglich auf dem optisch wirksamen Theil der Oberfläche nicht mit den Fingern berührt werden dürfen, ist selbstverständlich.

4. Die Behandlung des Instruments.

248 Wer sein Mikroskop schonen und dessen ursprüngliche Leistungsfähigkeit unverändert erhalten will, muss vor Allem darauf bedacht sein, die Linsen des Objectivs, wie des Oculars, nach jeder Verunreinigung, die während des Gebrauchs stattgefunden, sorgfältig zu reinigen. Namentlich versäume man nicht, die Vorderfläche des benutzten Objectivsystems jedesmal nach geschעהer Arbeit zu prüfen, da eintrocknende Flüssigkeiten, wie überhaupt alle Verunreinigungen, die allfällig daran haften geblieben sein können, leicht nachtheilig wirken. Die grösste Vorsicht erfordert aber immer die Anwendung von chemischen Reagentien während der Beobachtung, insbesondere solcher, welche das Blei des Flintglases afficiren. Chemische Proceduren, welche Schwefelwasserstoff, Chlor, Dämpfe flüchtiger Säuren und ähnliche Gase entwickeln, sollten nie im Zimmer, wo das Mikroskop steht, vorgenommen werden. Chlorsaures Kali mit concentrirter Salpetersäure, rauchende Salzsäure u. dgl. erfordern zum Schutz des Objectivs schon bei gewöhnlicher Temperatur möglichst grosse Deckgläschen und dürfen erhitzt nicht unter das Mikroskop gebracht werden.

Ist trotz aller Vorsicht eine Linse von dem Reagens benetzt worden, so spült man dieselbe zunächst mit destillirtem Wasser ab und reinigt sie nachher in gewohnter Weise. Am besten geschieht diess wohl mit einem feinen, durch öfteres Waschen weich gewordenen Tuch oder auch mit weichem Leder. Andere pflegen zur weitem Reinigung die frische Schnittfläche von trockenem Fliedermark zu verwenden, dessen auf der Linse zurückgebliebene Partikelchen sie endlich mit einem reinen Haarpinsel entfernen — ein gewiss ganz gutes, aber etwas umständliches Verfahren.

Wer das Mikroskop täglich benutzt und sich das jedesmalige Ein- und Auspacken ersparen will, bringt dasselbe zweckmässig unter eine Glasglocke oder bedeckt es vollständig mit einem Tuch, indem dadurch Stativ und Linsen hinlänglich vor Staub geschützt werden. Manche Beobachter pflegen übrigens in solchen Dingen nicht sehr ängstlich zu sein; sie verwahren höchstens das Objectiv in dem hiezu bestimmten Etui, bedecken das Ocular und lassen das Instrument so stehen. Wir haben auch nicht gefunden, dass Mikroskope, welche sogar mit angeschraubtem Objectiv Jahre lang so behandelt wurden, dabei irgendwie gelitten hätten. Doch ist es immer besser, man thue des Guten eher zu viel, als zu wenig.

Um das Beschlagen der Ocularlinse mit Wasserdunst während der Beobachtung zu vermeiden, kann man entweder das Ocular schwach erwärmen oder das ganze Instrument vor dem Gebrauch in ein warmes Zimmer stellen.

5. Schonung des Sehvermögens.

Wer ein einigermaassen ausdauerndes Sehwerkzeug besitzt, wird sich **249** bald daran gewöhnt haben, täglich mehrere Stunden ohne irgend welche Nachtheile mikroskopischen Arbeiten zu widmen; nur mache man sich's zur Regel, die ersten Morgenstunden und die Zeit unmittelbar nach dem Mittagessen zu vermeiden. Stellt sich eine Ermüdung oder eine gewisse Reizbarkeit der Augen ein, so setze man für einige Tage aus.

Ob man das unthätige Auge während der Beobachtung schliesse oder offen behalte, ist ziemlich gleichgültig; man gewöhne sich aber, abwechselnd mit dem rechten und linken Auge zu beobachten. Beide Augen erfahren alsdann dieselben Veränderungen; sie stimmen — vorausgesetzt, dass sie ursprünglich gleich waren — zeitlebens sowohl im Sehvermögen, als in der Sehweite überein, während sonst das beobachtende Auge gewöhnlich etwas kurzsichtiger wird. Der ausschliessliche Gebrauch des einen Auges soll überdiess eine eigenthümliche Reizbarkeit des andern zur Folge haben und bei anhaltender Arbeit Schmerzen in demselben verursachen. Diess ist jedenfalls insofern richtig, als das Auge, welches gewöhnlich unthätig ist, beim Sehen durchs Mikroskop einen weit hellern Lichteindruck erhält und, wenn man zur Abwechslung längere Zeit damit beobachtet, rascher ermüdet (was übrigens bei dem gesunden Auge des Anfängers auch der Fall ist). Was dagegen die Schmerzen betrifft, welche die anhaltende Arbeit verursacht, so lässt die Erfahrung es unentschieden, ob die abwechselnde Benutzung beider Augen nicht eben so grosse Unannehmlichkeiten nach sich gezogen hätte. Jedenfalls giebt es viele Mikroskopiker, welche stets mit demselben Auge beobachten und diess bereits seit Jahren ohne Nachtheil gethan haben.

6. Der Arbeitstisch.

Eine nicht zu unterschätzende Annehmlichkeit ist die zweckmässige **250** Einrichtung und bequeme Höhe des Arbeitstisches. Derselbe soll hinreichend gross und massiv und mit einer oder mehreren Schubladen ausgestattet sein, in welchen man die verschiedenen Nebenapparate, Zeichnenprismen, Glasgefässe etc. aufbewahrt. Für Zergliederungen empfiehlt sich eine in die Tischplatte eingelassene Schiefertafel, weil man die meisten Gegenstände auf schwarzem Grunde deutlicher sieht. Andere Einrichtungen, die vielleicht in diesem oder jenem Fall ganz zweckmässig sein mögen, im Allgemeinen aber entbehrlich sind, übergehen wir hier. Wer sich einen complicirtern Arbeitstisch mit all' den Beigaben, die etwa wünschenswerth erscheinen, machen lassen will, wird am besten thun, den Plan hiezu nach eigener Idee zu entwerfen.

II.

Herstellung und Behandlung der Präparate.

251 Es giebt im Ganzen nur wenige Gegenstände, welche ohne weitere Präparation auf dem Objectträger ausgebreitet oder durch Quetschen mit dem Deckglas isolirt werden können; die meisten bedürfen einer vorhergehenden Zergliederung in kleinere Theile oder müssen auf zarten Durchschnitten, deren Anfertigung eine gewisse Uebung voraussetzt, untersucht werden. Zweckmässiges Präpariren bleibt daher immer ein Hauptpunct bei mikroskopischen Arbeiten: es ist wichtig, ein gegebenes Object der Betrachtung so zugänglich als möglich zu machen und alle hiezu erforderlichen Procedures kennen zu lernen, jedoch selbstverständlich vor Allem nothwendig, sich in der Handhabung der Präparirinstrumente practisch zu üben. Die schriftliche Erörterung dieses Gegenstandes kann sich füglich auf eine kurze Angabe der Mittel und Wege beschränken, welche man zur Erreichung des gedachten Zieles zu wählen pflegt; alles Uebrige bleibt naturgemäss der practischen Schule vorbehalten.

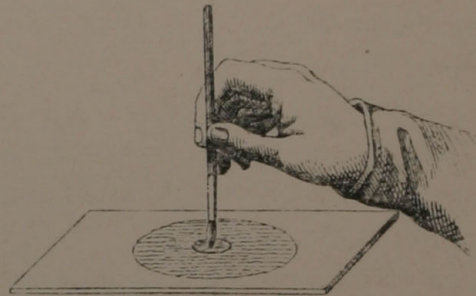
Das Zergliedern der Objecte, sowie das Freipräpariren bestimmter Theile, geschieht in der Regel mit Hülfe von Nadeln, und zwar in schwierigen Fällen unter der Loupe oder dem einfachen Mikroskop.

Als Präparirnadel kann hiebei jede gewöhnliche Nähnadel dienen, wenn dieselbe mit einem hölzernen Stiel versehen ist, in welchem sie unbeweglich festsetzt. Wer indess auf eine bessere Ausstattung Werth legt, mag sich Nadeln von verschiedener Form und Grösse, darunter solche mit hakenförmig gebogener Spitze, und andere, die in ein kleines Messerchen auslaufen, anfertigen lassen, und je nach dem Gegenstand, welcher zergliedert werden soll, diese oder jene gebrauchen. Nadeln, welche zu schwierigen Zergliederungen verwendet werden, müssen natürlich eine feine Spitze haben und sobald sich dieselbe abgestumpft hat, wieder geschliffen werden; solche dagegen, welche man bloss zum Drücken auf das Deckgläschen oder zum Verschieben desselben behufs Drehung der Objecte oder auch zu gröberen Zergliederungen benutzt, sind auch mit stumpfen Spitzen noch brauchbar und oft sogar zweckmässiger, sie sollen überhaupt etwas stärker sein und nicht federn. Das Heft wird namentlich bei feinen Nadeln am besten so eingerichtet, dass man dieselben nach Belieben wechseln und mittelst einer Metallkappe jedesmal fest einklemmen kann.

Eine geschickte Handhabung der Präparirnadeln ist bei manchen Objecten von grösster Wichtigkeit. Die Mühe, welche das Zerpupfen derselben verursacht, wird in solchen Fällen durch die Sicherheit der Beobachtung, die man dadurch erzielt, mehr als aufgewogen. Anfänger fehlen

gewöhnlich darin, dass sie mit zu grossen Massen operiren und die Operation nicht lange genug fortsetzen.

Sind in einem Präparate zellige oder körnige Elemente zwischen fibröse, die man untersuchen will, eingebettet, so lassen sich erstere zuweilen durch Auspinseln — eine Methode, die bei thierischen Präparaten häufig angewendet wird — entfernen. Der Gegenstand wird auf dem Objectträger, in einem geeigneten Medium liegend, so lange mit einem Malerpinsel in senkrechten Bewegungen betupft (Fig. 455), bis sich die Flüssigkeit trübt und das Gewebe sich aufhellt. Nöthigenfalls wird diese Procedur mehrere Male, verbunden mit Auswaschen und Wenden des Präparats und unter Zusatz neuer Flüssigkeit, wiederholt, bis endlich keine Trübung mehr stattfindet.



Figur 455.

Zur Anfertigung von Durchschnitten bedient man sich am häufigsten guter Rasirmesser; andere Schneideinstrumente, wie Doppelmesser, Scalpelle u. dgl. sind für botanische Zwecke geradezu überflüssig. und so viel wir wissen, ist ihr Werth auch bei thierischen Substanzen nur ein sehr untergeordneter. Wer das Rasirmesser geschickt zu führen weiss, wird jedenfalls in der grossen Mehrzahl der Fälle damit ausreichen; nur ist es rathsam, je nach Umständen eine flach geschliffene oder eine hohl geschliffene Klinge zu benutzen. Handelt es sich z. B. um die Herstellung grösserer Durchschnitte durch verholzte Gebilde, so ist hiezu ein flach geschliffenes Messer, das auf dem Nagel nicht federt, erforderlich, während für weiche krautartige Gewebe sich im Gegentheil hohl geschliffene Rasirmesser mit elastisch biegsamer Schneide am besten eignen.

Vor dem Schneiden wird in der Regel sowohl die Klinge als das Object angefeuchtet, indem ein trocken geführter Schnitt gewöhnlich weniger gut ausfällt. Als Ausnahme sind indess ausgetrocknete gallertartige Substanzen, wie z. B. manche Flechtenthallome zu behandeln, weil sie im feuchten oder aufgequollenen Zustande nicht den nöthigen Widerstand bieten; hier ist höchstens eine Berührung mit der feuchten Lippe zulässig. Beim Schneiden selbst darf das Messer nicht etwa bloss wie ein Keil rechtwinklig zur Längsaxe durchgedrückt, es muss vielmehr hindurch gezogen werden, wenn die Schnittfläche möglichst glatt und rein ausfallen soll.

Sind die zu untersuchenden Gegenstände so dünn oder so klein, dass das Fassen mit der Hand und das richtige Ansetzen des Messers schwer fällt, so muss ihnen auf irgend eine passende Art der nöthige Halt gegeben werden. Handelt es sich um dünne fadenförmige oder lamellenartige Gebilde (Blätter etc.), so genügt es zuweilen, wenn man sie zu mehreren

aufeinander legt und zwischen die Finger presst. Meistens aber ist es rathsam, dieselben zwischen Kork oder Hollundermark einzuklemmen oder, wenn die Natur der Substanz diess gestattet, in Gummischleim eintrocknen zu lassen. Dünne Wurzeln, einzelne Blätter, Stammspitzen und ähnliche Objecte mit saftigem Gewebe schneidet man z. B. am besten zwischen Hollundermark, das im Allgemeinen vor dem Kork den Vorzug verdient; nur muss der Druck natürlich immer so regulirt werden, dass keine Quetschung stattfindet. Bei etwas dickeren Gegenständen ist desswegen das Aushöhlen einer entsprechenden kleinen Rinne im Marke empfehlenswerth. Längsschnitte durch zarte fadenförmige Objecte gelingen zuweilen am besten, wenn man dieselben um die Kante einer Korkplatte herumbiegt, das eine Ende fest andrückt und hierauf das andere, das man nöthigenfalls mit ganz wenig Gummischleim aufklebt, vorsichtig von der Kante aus durchschneidet. Auf diese Weise erhielten wir z. B. noch dünne Medianschnitte durch weiche Wurzelenden, nachdem zahlreiche Versuche zwischen Kork und Fliedermark fehlgeschlagen hatten. — Das Einlegen in Gummi ist nur bei solchen Objecten anwendbar, welche ohne Schaden eintrocknen und beim Aufquellen wieder ihre ursprüngliche Form annehmen, bei diesen aber jedem andern Mittel vorzuziehen. Pollenkörner mit dicker Exine, Stärkekörner, die Aussenwandungen der Epidermiszellen, alle Flechtenthallome, manche Moos- und Algengewebe etc. kann man nach dieser Methode ohne alle Schwierigkeit in die dünnsten Lamellen zerlegen.

Für moderiges Holz und ähnliche Gewebe mit locker verbundenen Theilen soll unter Umständen auch die Injection mit geschmolzenem Stearin, das man später auf der Objectplatte mit Aether oder Benzin entfernt, zweckmässig sein. Schacht giebt an, er habe auf diese Weise noch zarte Durchschnitte durch stark vermodertes Holz aus Hünengräbern erhalten.

Objecte endlich, welche nur aus einer einzigen Zellreihe oder Zellschicht bestehen, wie z. B. Algenfäden und Moosblätter, werden gewöhnlich mit einem Tropfen Wasser auf den Daumennagel gebracht und durch eine schaukelnde Bewegung des Rasirmessers zerschnitten — ein Verfahren, welches bis zu einer gewissen Dicke der Gegenstände auch bei mehreren Zellenlagen noch Anwendung findet.

- 253** Um die auf der Messerklinge oder auf dem Daumennagel liegenden Schnitte in die Beobachtungsflüssigkeit auf der Objectplatte überzutragen, bedienen sich manche Beobachter eines feinen Malerpinsels, an dessen feuchter Spitze die einzelnen Objecte leicht haften bleiben, während sie in Wasser sich eben so leicht wieder ablösen. Man kann aber auch das Rasirmesser flach auf die Glasplatte legen, so dass die Schneide den Rand der Flüssigkeit berührt, und nun Schnitt für Schnitt mittelst der Nadel in dieselbe herüberschieben. Es kommt in diesen Dingen, wie in so manchen andern, viel auf Gewohnheit und Uebung an. Wir pflegen den Pinsel zum Uebertragen der Präparate nie zu gebrauchen.

Sind die zu untersuchenden Gegenstände in einer Flüssigkeit suspendirt, so bedient man sich häufig der Pipette (Fig. 456), um dieselben aufzufangen und auf die Objectplatte zu bringen. Verschliesst man nämlich das obere Ende der Glasröhre durch Auflegen des Zeigefingers, so kann man das untere, in eine feine Spitze ausgezogene Ende in eine Flüssigkeit eintauchen, ohne dass diese eindringt. Entfernt man sodann augenblicklich den Finger, so dringt etwas Flüssigkeit sammt den darin suspendirten Körperchen in die Röhre ein und kann nach abermaliger Verschliessung des obern Endes herausgehoben werden. Die Pipette empfiehlt sich namentlich, wenn man aus verschiedenen über einander gelagerten Flüssigkeitsschichten einzelne Proben auffangen und gesondert untersuchen will.

Die in neuerer Zeit vielfach empfohlenen Mikrotome — Apparate, welche die Herstellung dünner Durchschnitte durch harte Gewebe erleichtern sollen — finden gewiss in manchen Fällen, namentlich wo eine grössere Ausdehnung und gleichmässige Dicke der Schnitte wünschenswerth ist, wie z. B. bei mikroskopischen Cabinetsstücken, ganz zweckmässige Verwendung. Für wissenschaftliche Untersuchungen scheint uns dagegen ihr Werth sehr untergeordnet, da es hier meistens bloss darauf ankommt, kleine Stücke eines Objectes gut zu durchschneiden oder wenigstens beim Durchmustern der Schnitte brauchbare Stellen zu finden. Wir bekennen uns überhaupt zu der Ansicht Mohl's, dass mechanische Vorrichtungen dieser Art, welche das künstlich potenzierte Auge durch künstlich potenzierte Hände unterstützen sollen, der Wissenschaft wenig Nutzen bringen, und dass einfache Werkzeuge in geübter Hand vollkommen ausreichen und meist bessere Dienste leisten als complicirte. Auf eine Beschreibung der Mikrotome glauben wir daher um so eher verzichten zu dürfen, als die Verfertiger derselben gewöhnlich jedem abzugebenden Instrument eine Gebrauchsanweisung beilegen.

Die Scheere kommt nur bei thierischen Präparaten öfter in Gebrauch, 255 bei pflanzlichen höchstens ausnahmsweise; jedenfalls reicht hier eine ganz gewöhnliche kleine Scheere vollkommen aus. Ebenso sind auch Meisel und Doppelmeisel, Säge, Hobel u. dgl., wenn sie auch in gewissen speziellen Fällen unentbehrlich sind, nicht eigentlich zu den Instrumenten des Mikroskopikers zu rechnen, so wenig als man Taschenmesser, Schraubstock, Zange, Locheisen u. dgl. als solche betrachten kann. Die Anwendung der gedachten Instrumente ist übrigens in den meisten Fällen selbstverständlich; man bedient sich der Säge bei versteinerten Hölzern, Knochen, Zähnen und ähnlichen Gegenständen, um dieselben zu durchschneiden oder in dünne Plättchen zu zerlegen, die man nachher eben



254

Fig. 456.

schleift, — des Hobels bei hornartigen Gegenständen, um grössere Schnitte zu erhalten, — des Doppelmeisels, um aus harten Objecten von beträchtlicher Dicke dünne Lamellen herauszuschneiden u. s. w. Wer in den Fall kommt, das eine oder andere Instrument mit Vortheil zu gebrauchen, wird auch leicht ermessen, welche Form und Grösse ihm am besten convenirt und demgemäss — wenn überhaupt eine Auswahl geboten ist — seine Wahl treffen. Es scheint uns überflüssig, hierüber noch weitere Anweisungen folgen zu lassen.

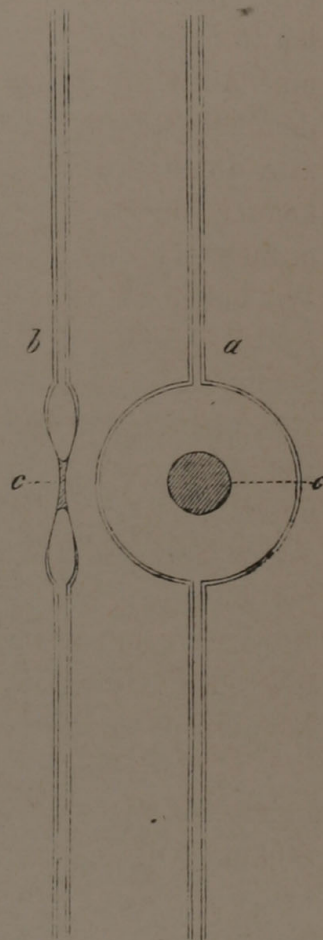
- 256** Sind die angefertigten Durchschnitte in Folge ihres Luftgehaltes undurchsichtig, so muss die Luft auf irgend eine Weise entfernt werden. Manchmal genügt ein längeres Liegenlassen in der Beobachtungsflüssigkeit, insofern die letztere noch Luft zu absorbiren vermag; ein ganz sicheres Medium ist z. B. ausgekochtes Wasser, und nach Schacht auch Alcohol. In andern Fällen führt ein schwaches Erwärmen des Präparates über der Weingeistlampe zum Ziel. Am wirksamsten und bequemsten ist indess immer die Anwendung der Luftpumpe, indem einige wenige Züge schon hinreichen, um die unter den Recipienten gebrachten Objecte vollständig luftfrei zu machen. Wer über eine grössere Luftpumpe, die immerhin zu den kostspieligen Apparaten zählt, nicht zu disponiren hat, kann sich eine kleinere von der Form einer Spritze leicht selbst anfertigen oder mit geringen Kosten anfertigen lassen. In eine unten zugeschmolzene Röhre von c. 1 Zoll Durchmesser wird ein mit einem Ventil versehener Kolben eingepasst, der beim Hineinschieben die Luft entweichen, beim Herausziehen aber nicht eintreten lässt. Das zu untersuchende Object muss freilich bei dieser Einrichtung schon vor dem Präpariren in hinreichend kleinen Stücken und mit etwas Wasser in die Röhre gebracht und später wieder herausgefischt werden, was gerade nicht bequem ist; dessenungeachtet wird eine solche Handluftpumpe in Ermangelung einer bessern oft mit Vortheil angewandt.

Rührt die Undurchsichtigkeit von Inhaltspartieen oder Einlagerungen in die Membran her, so ist natürlich bloss durch Entfernung der betreffenden Substanzen mittelst chemischer Reagentien Abhülfe zu schaffen. Hierüber soll später das Nähere mitgetheilt werden.

- 257** Das Quetschen der Präparate auf dem Objectträger wird in der Regel durch einen schwachen Druck, den man mit der Nadel auf das Deckgläschen ausübt, bewerkstelligt. Diess einfache Verfahren gewährt den doppelten Vortheil, den Druck nach Belieben und unter Umständen abwechselnd steigern und mässigen, und, wo es zweckdienlich erscheint, auch mit einem Zug nach dieser oder jener Seite hin verbinden zu können, was bei manchen Objecten sehr wichtig ist. Handelt es sich dagegen darum, einen gewissen Druck längere Zeit constant zu erhalten, sei es um eine grössere Fläche bequem zu durchmustern oder um das Object mit der Camera lucida zu zeichnen, so leistet allerdings eine mechanische Vorrich-

tung, welche den Druck mittelst Schrauben auszuüben gestattet, wesentliche Dienste. Solche Vorrichtungen, sogenannte Compressorien, werden gegenwärtig von den meisten Optikern geliefert; sie figuriren z. B. in den Preisverzeichnissen von Hartnack, Nachet, Bénéche, Merz, Zeiss, Seibert und Krafft, Schieck und Plössl und sind je nach Grösse und Einrichtung zu 15—30 Mark angesetzt.

Will man lebende Zellen in normaler Vegetation oder unter bestimmten Bedingungen, beispielsweise bei Luftabschluss, in einem von Kohlensäure, Wasserstoff, Quecksilber umschlossenen Flüssigkeitstropfen beobachten, so eignet sich hiezu am besten eine feuchte Kammer, wie sie Geissler in Berlin verfertigt (Fig. 157 C Kulturtropfen). Dieselbe hat einen centralen Beobachtungsraum, der an zwei opponirten Puncten mit einem Zu- und Ableitungsrohr in Verbindung steht. Die Wände der Kammer haben im mittlern Theil, auf welchen eingestellt wird, die Dicke eines Deckglases; sie sind hier einander bis auf einen capillaren Zwischenraum genähert. Füllt man dieselbe mit einer Flüssigkeit und lässt diese dann wieder ausfliessen, so bleibt immer im mittlern capillaren Raum ein Tropfen hängen, welcher der Beobachtung auch bei Anwendung stärkerer Objective in seiner ganzen Ausdehnung zugänglich ist. In diesen Raum kann folglich eine Pilzspore, eine Hefezelle u. dgl. mit der nöthigen Nährflüssigkeit ohne Schwierigkeit gebracht werden. Die Zuleitung von Gasen oder Flüssigkeiten während der Entwicklung geschieht mittelst eines Aspirators, der mit dem Abflussrohr der Kammer verbunden ist.



Figur 157.

Für das Studium der Theilungsvorgänge bei Algen (*Spirogyra* u. dgl.), wo dieselben gewöhnlich des Nachts stattfinden, ist das von Strasburger*) angewandte Verfahren zu empfehlen, durch welches eine Verlegung des Vorganges auf den folgenden Tag ermöglicht wird. Man bringt die Gläser, in denen sich die Algen befinden, in einen Raum, dessen Temperatur weniger als 5° C. beträgt. Dadurch werden die Theilungsvorgänge sistirt, treten dann aber am nächsten Morgen bei gewöhnlicher Zimmertemperatur auch bei hellster Beleuchtung ein.

*) Strasburger, Zellbildung und Zelltheilung, p. 34.

III.

Die Aufbewahrung der mikroskopischen Präparate.

259 Das Sammeln mikroskopischer Objecte, namentlich solcher, die man einer mühsamen Zergliederung oder einem glücklichen Zufalle verdankt, hat in neuerer Zeit durch die Verbesserung der Aufbewahrungsmethoden eine Ausdehnung und Bedeutung erlangt, welche es gewissermaassen jedem Mikroskopiker zur Pflicht machen, die zur Herstellung solcher Präparate dienlichen Verfahren kennen zu lernen. Da es zunächst darauf ankommt, das zur Erhaltung der Objecte geeignete Medium zu wählen, so ordnen sich die in Gebrauch gekommenen Methoden am besten nach diesen. Wir heben folgende hervor:

1) Luft als Medium für trockene Substanzen, wie z. B. Schmetterlingsschuppen, Diatomeen, Krystalle und Durchschnitte durch verschiedene Hartgebilde. Man bedeckt diese Gegenstände, nachdem man sich überzeugt hat, dass sie in Luft ein befriedigendes Bild gewähren, mit einem dünnen Deckgläschen und befestigt das letztere in irgend einer Weise auf dem Objectträger, am besten mit dicker Gummisolution oder mit Canadabalsam. Das Ganze wird hierauf zweckmässig (wie auch bei Anwendung der folgenden Medien) mit einem Papier überzogen, welches über der Mitte des Deckgläschens einen Ausschnitt besitzt und an den Rändern des Objectträgers etwas übergreift.

2) Canadabalsam, für Hartgebilde aller Art: Diatomeen, fossile Hölzer, Knochen- und Zahnschliffe etc. Unter den harzähnlichen Stoffen, welche man als Medium für mikroskopische Objecte vorgeschlagen hat, ist keiner so wichtig und so allgemein in Gebrauch gekommen, als der canadische Balsam. Für vegetabilische Objecte findet er freilich nur eine beschränkte Verwendung, indem die meisten Zellmembranen darin zu durchsichtig erscheinen, um noch ein deutliches Bild zu gewähren; um so grösser ist dagegen seine Bedeutung für thierische Präparate. Das einzuschliessende Object wird durch Erwärmen oder auch über Schwefelsäure oder Chlorcalcium vollständig ausgetrocknet und hierauf mit Terpentinöl getränkt. Auf die Objectplatte wird alsdann ein Tropfen flüssigen Canadabalsams gebracht, das Präparat darin ausgebreitet und mit einem zweiten Tropfen bedeckt. Zur Entfernung der Luftblasen ist ein gelindes Erwärmen der Objectplatte (wobei natürlich kein Aufkochen stattfinden darf) zu empfehlen, und zwar wird dasselbe nöthigenfalls auch nach der Bedeckung mit dem Deckgläschen noch fortgesetzt, indem man das Präparat auf eine warme Unterlage (im Winter z. B. auf die Platte eines Thonofens) bringt, wodurch zugleich ein schnelleres Erhärten des Balsams erzielt wird.

Da der Balsamverschluss immer etwas klebrig bleibt, so ist es rathsam, die Ränder des Deckgläschens nach etwa 8 Tagen noch mit irgend einem Lack zu bestreichen, welcher rasch zu einer festen, nicht klebrigen Masse eintrocknet. — Fester Canadabalsam wird vorher mit Terpentinöl oder auch mit etwas Chloroform verdünnt. Das Hartwerden an der Luft kann übrigens durch zweckmässige Aufbewahrung, am besten in weithalsigen Glasgefässen mit eingeschliffenen Stöpseln, ziemlich beschränkt werden. Ein allfälliger Ueberschuss des aufgetragenen Balsams, welcher an den Rändern des Deckgläschens hervorquillt, wird nach dem Erhärten abgekratzt und hierauf die Glasfläche mit einem von Terpentinöl benetzten Lappen vollständig gereinigt.

Statt des gewöhnlichen dickflüssigen Balsams wird unter Umständen ein mit Aether oder Chloroform stark verdünnter mit Vortheil angewandt. Man trägt denselben mittelst eines Pinsels kalt auf die Objectplatte auf, legt das Präparat ein, setzt noch etwas Flüssigkeit zu und bedeckt schliesslich.

3) Glycerin, für die meisten Pflanzengewebe. Dasselbe empfiehlt sich namentlich für solche Präparate, wo die Erhaltung der Stärkekörner und des Chlorophylls von Wichtigkeit ist. Um die Contraction des Primordialschlauches, soweit es überhaupt möglich ist, zu beschränken, bringt man die Objecte vorerst in eine mit destillirtem Wasser sehr verdünnte Lösung, die man entweder in der Luft verdunsten lässt oder nach und nach durch concentrirtere Lösungen ersetzt. Die Eigenschaft des Glycerins, bis zu einem gewissen Concentrationsgrade Wasser aus der Luft anzuziehen, macht einen hermetischen Verschluss überflüssig; nur wo dasselbe bleibend einen grössern Wassergehalt besitzen soll, muss natürlich die Verdunstung durch sorgfältiges Auftragen der unten zu erwähnenden Lacksorten verhindert werden. Doch braucht man sich damit keineswegs zu beeilen; man darf ruhig mehrere Präparate zusammenkommen lassen, ehe man zum Einkitteten schreitet.

Statt des reinen Glycerins wenden Andere ein Gemisch von Glycerin und arabischem Gummi oder Gelatine an, weil durch das Erstarren dieser Flüssigkeit spätern Ortsveränderungen der Objecte vorgebeugt wird. Man erhält diese Mischung, indem man beispielsweise 1 Theil Gelatine in 2 Theilen Wasser erwärmt und hierauf das gleiche Volumen oder auch etwas mehr Glycerin zusetzt.

Farrants empfiehlt eine noch complicirtere Mischung, welche aus gleichen Theilen Glycerin, arabischem Gummi und gesättigter wässriger Lösung von arseniger Säure besteht und wie Canadabalsam gebraucht wird. Eine Verkittung ist hier nicht nöthig, da die äussern Schichten bald erhärten und eine weitere Verdunstung verhindern.

4) Chlorcalcium, für die meisten vegetabilischen Gewebe. Wird in ähnlicher Weise wie Glycerin angewendet und verlangt bei hinreichender Concentration ebensowenig, wie dieses, einen hermetischen

Verschluss. Bei vorsichtiger Steigerung der Concentration bleiben die Wandungen der Zellen, selbst in jugendlichen Geweben, meist gut erhalten; die Farbstoffe werden dagegen mehr oder weniger verändert, die Stärkekörner quellen auf, der Primordialschlauch contrahirt sich. Dessenungeachtet ist die Chlorcalciumlösung in vielen Fällen dem Glycerin vorzuziehen. — Um die Bildung von basisch salzsaurem Kalk, welcher zuweilen auf dem Präparat auskrystallisirt, zu verhindern, säuert man die Lösung zweckmässig mit etwas Salzsäure an. Die Concentration der Chlorcalciumlösung richtet sich nach der Natur der Gewebe; verholzte Zellen ertragen eine vollständige Sättigung, während für jugendliche Gewebe eine verdünntere Lösung vorzuziehen ist.

5) Zuckerwasser, für Präparate, welche durch Glycerin oder Chlorcalcium zu sehr verändert werden. Der Zuckergehalt hindert die sonst immer eintretende Zersetzung und die damit verbundene Trübung der Flüssigkeit. Um auch jede Pilzbildung zu verhindern, kann man die Lösung mit etwas Sublimat versetzen. Dieselbe erfordert selbstverständlich immer einen hermetischen Verschluss.

260 Ausser den genannten Conservirungsflüssigkeiten wurden noch zahlreiche andere vorgeschlagen, die sich aber vorzugsweise für thierische Präparate eignen. Einige der gebräuchlichsten mögen hier noch Erwähnung finden.

Die von Pacini empfohlene Mischung — eine Modification der sogenannten Goadby'schen Flüssigkeit — besteht aus

Sublimat 4 Theil
Reines Chlornatrium 2 Theile
Glycerin (25^o Beaumé) 13 Theile
Destillirtes Wasser 113 Theile.

Diese Mischung soll zwei Monate stehen gelassen und dann mit dem dreifachen Gewicht destillirten Wassers verdünnt und durch Fliesspapier filtrirt werden. Zur Erhaltung der Blutkörperchen, Nerven, Ganglien, Krebszellen, sowie überhaupt zarter proteinhaltiger Gewebe, soll dieselbe sich ganz vortrefflich eignen.

Aehnliche Gemische werden auch im pathologischen Institut in Berlin in verschiedenen Nummern angewandt; sie haben nach Cornil*) folgende Zusammensetzung.

*) Citirt von H. Frey, Das Mikroskop, 5. Aufl. p. 127.

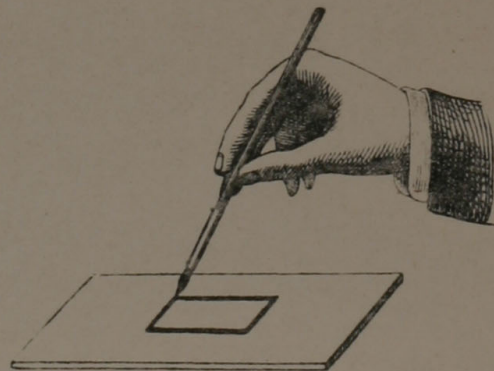
Nr. 1.		Nr. 2.		Nr. 3.		Nr. 4.	
Sublimat	1	Sublimat	1	Sublimat	1	Sublimat	1
Chlornatrium	2	Chlornatrium	1	Chlornatrium	1	Wasser	300
Wasser	100	Wasser	200	Wasser	300		
Nr. 5.		Nr. 6.		Nr. 7.		Nr. 8.	
Sublimat	1	Sublimat	1	Sublimat	1	Sublimat	1
Essigsäure	1	Essigsäure	3	Essigsäure	5	Phosphorsäure	1
Wasser	300	Wasser	300	Wasser	300	Wasser	30

Nr. 1 ist für gefässreiche Gewebe warmblütiger Thiere bestimmt, Nr. 2 für diejenigen der kaltblütigen Geschöpfe, Nr. 3 für Eiterkörperchen und verwandte Gebilde, Nr. 4 für Blutzellen, Nr. 5 für Epithelialzellen, Bindegewebe und Eiterzellen, wenn zugleich die Kerne hervortreten sollen, Nr. 6 für Bindegewebe, Muskeln und Nerven, Nr. 7 für Drüsen, endlich Nr. 8 für Knorpelgewebe.

Beale erwähnt eine Flüssigkeit, die nach folgender Vorschrift gemischt wird. Zu 6 Unzen Methylalcohol und 3 Drachmen Kreosot wird soviel Kreidepulver zugesetzt, dass das Gemenge eine weiche Paste bildet. Letztere wird hierauf unter sorgfältigem Reiben in einem Mörser mit 64 Unzen Wasser, das man allmählig zugiesst, verdünnt, dann mit ein paar kleinen Kampherstückchen versetzt und etwa 14 Tage stehen gelassen. Endlich wird filtrirt und die Flüssigkeit in einer gut schliessenden Flasche aufbewahrt. — Ein ähnliches Gemisch gebrauchte Thwaites zur Conservirung der Desmidiaceen.

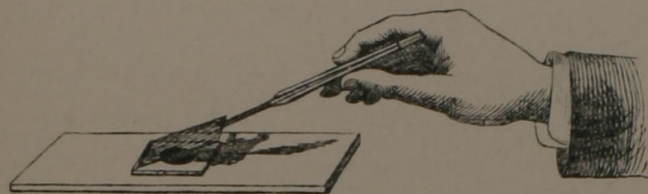
Nach dieser Aufzählung der Conservirungsflüssigkeiten bleibt uns noch **261** die Herstellung eines hermetischen Verschlusses, welcher für die meisten derselben nothwendig ist, zu besprechen übrig. Die Vorsichtsmaassregeln, die man hiebei zu beobachten hat, betreffen erstens die Unterlage, auf welche zur Vermeidung des Druckes das Deckgläschen zu liegen kommt, und zweitens das dauerhafte Einkitten der Ränder des Deckgläschens.

Sind die zu conservirenden Gegenstände nicht zu dick, so genügt es, mittelst eines Malerpinsels einen Rahmen von Kitt oder Lack auf dem Objectträger zu ziehen (Fig. 158), und zwar von solcher Form und Grösse, dass sein äusserer Umriss beim Auflegen des Deckgläschens etwas vorsteht. Sobald der Lack ungefähr halbtrocken, bringt man das Präparat in den eingeschlossenen Raum und füllt denselben mit der gewählten Flüssigkeit. Hat man zuviel von der letztern



Figur 158.

zugesetzt, so kann der Ueberschuss mittelst des Pinsels leicht entfernt werden. Das Deckplättchen wird zweckmässig zuerst auf der einen Seite schief aufgesetzt (Fig. 159) und dann allmählig in die horizontale Lage ge-

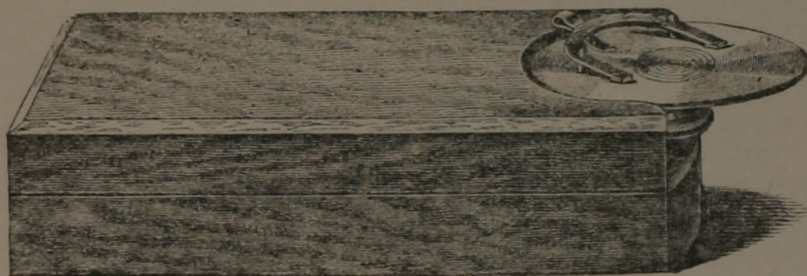


Figur 159.

bracht, so dass es mit seinen Rändern auf dem Lackrahmen haften bleibt. Tritt hiebei noch etwas Flüssigkeit hervor, so wird dieselbe vorsichtig mit Fliesspapier abgewischt, worauf endlich der Rand des

Deckgläschens mit einem etwas dicken Lack derselben Art umzogen wird. — Statt eines geschlossenen Rahmens als Unterlage empfiehlt Schacht zwei parallele Lackstreifen, auf welche das Deckglas wie auf zwei Brückenpfeiler zu liegen kommt. Dadurch wird allerdings das Zurückbleiben von Luft neben dem Präparat leichter vermieden, die Herstellung eines hermetischen Verschlusses dagegen erschwert.

Viereckige Deckplättchen verursachen beim Verkitten grössere Mühe als kreisförmige. Letztere können gegenwärtig von Schieck in Berlin, L. Möller in Giessen, Plössl in Wien, Rodig in Hamburg etc. bezogen werden. Das Verkitten derselben geschieht am besten mit Hülfe des in Fig. 160 nach Frey's Verbesserung dargestellten Drehtisches. H. Frey beschreibt Apparat und Verschlussverfahren folgendermaassen. »Die runde Messingplatte



Figur 160.

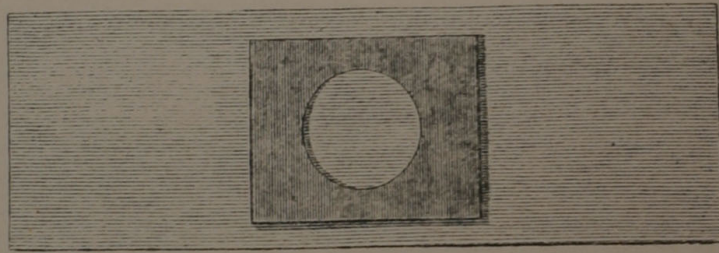
des einfachen Apparates besitzt einen Bügel, welcher durch eine Feder aufdrückt und durch den Gegendruck der Fingerspitze gehoben wird. Concentrische Kreise, nach der Grösse der Deckgläschen auf das Messing eingravirt, zeigen die Stelle an, wo der senkrecht aufgesetzte Pinsel (sei es auf den Objectträger, oder, wenn das Deckplättchen aufliegt, über beide) den Ring zu ziehen hat. Hiezu muss die Drehscheibe durch eine Fingerbewegung an der untern kleinen, mit gekerbtem Rande versehenen Scheibe in rotirende Bewegung gebracht werden. Man setzt den in das Zement getauchten (möglichst kleinen) Pinsel anfangs nur sehr leicht, später, wenn die Drehbewegung erlahmt, etwas fester auf. Man lernt sehr bald die regelmässigsten Ringe zu bilden. Der Kitt muss aber eine flüssigere Be-

schaffenheit besitzen, als derjenige, welcher für viereckige Deckplättchen zur Verwendung kommt.«

Sind die zur Aufbewahrung bestimmten Gegenstände so dick, dass 262 Rahmen von Lack, auch wenn derselbe mehrere Male aufgetragen wird, nicht mehr ausreichen, so pflegt man solche — sogenannte Zellen oder Tröge — aus Guttapercha, Kautschuk oder Glas herzustellen und auf den Objectträger aufzukitten. Zu den Guttapercha- und Kautschukzellen verwendet man am einfachsten die käuflichen Platten, indem man viereckige Stücke, etwas schmaler

als die Objectplatte, ausschneidet und mit einem Locheisen durchbohrt (Fig. 164).

— Glaszellen von kreisförmiger Gestalt erhält man, indem man Ringe von entsprechender



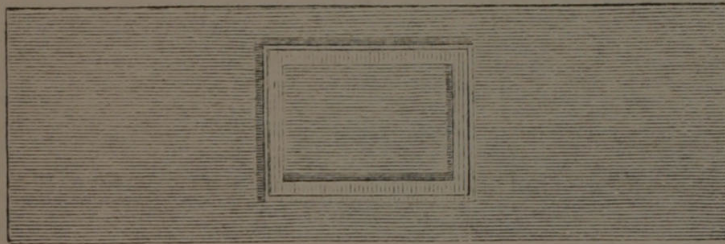
Figur 164.

Dieke von Glasröhren absägt und die Schnittflächen eben schleift; sie verlangen natürlich auch kreisrunde Deckgläschen. Zweckmässiger sind indess viereckige Glasplatten mit kreisrunder oder ovaler Oeffnung, ähnlich den Guttaperchazellen, oder auch solche, welche aus linienbreiten Streifen von Spiegelglas zusammengesetzt sind. Die letztern kann man sich leicht selbst bereiten, indem man zweierlei Sorten von Streifen, eine von 18—20, eine andere von 12—15^{mm} Länge schneiden lässt und sie zu viereckigen Rahmen zusammenkittet. Man kann auch einen einzigen Glasstreifen über der Gebläseflamme rechtwinklig biegen und die Enden zusammenschmelzen, doch gehört dazu eine geübtere Hand.

Eine Hauptsache bei der ganzen Procedur ist der endgültige Ver- 263 schluss. Da manche Kitte und Lacke mit der Zeit zahlreiche feine Risse erhalten, durch welche Luft eindringt, so hängt die Dauerhaftigkeit des Präparates wesentlich von der richtigen Wahl des Verschlussmittels ab. Zur Befestigung der Glaszellen bedient man sich am besten des sogenannten Seeleimes (marine glue), einer Masse, welche aus gleichen Theilen Schellack und Kautschuk, beide in Benzin gelöst, zusammengesetzt ist, oder auch der von Harting empfohlenen Lösung von Guttapercha und Schellack in Terpentinöl. Beide werden erwärmt, resp. geschmolzen, aufgetragen und hierauf die Zellen oder Glasstreifen unter Erwärmen angedrückt. Zum Einkitten der Deckgläschen wird dagegen meistens der käufliche Asphaltlack, eine Lösung von Asphalt in Leinöl und Terpentin, angewendet; doch hat sich derselbe durch die bisherigen Erfahrungen gerade nicht besonders bewährt, indem er oft schon nach Wochen oder Monaten Risse und Sprünge erhält. Viel besser ist nach Frey (Das Mikr. 5. Aufl. p. 433) der von Bourgogne in Paris verwendete Asphaltlack. Derselbe

trocknet verhältnissmässig rasch und schliesst in mehrfacher Lage ein für alle Mal. Früher wurde von dem nämlichen Autor auch ein von Maler Ziegler in Frankfurt a. M. (Friedberggasse 23) erfundener weisser Kitt empfohlen, welcher durch gelindes Erwärmen mit Terpentinöl leicht beliebig verdünnt werden kann und wie der Asphaltlack mit dem Pinsel aufgetragen wird. Dieser Kitt soll zwar sehr langsam fest werden und oft noch nach Monaten eindrückbar sein, dafür aber einen sichern Verschluss gewähren. Auch der sogenannte Goldgrund oder Goldleim (gold size), wie ihn die Vergolder zum Festkleben der Goldblättchen gebrauchen, wird für den ersten Verschluss als ganz vortrefflich empfohlen und Harting giebt an, er habe sich desselben lange Zeit ausschliesslich bedient. Frey empfiehlt dagegen noch eine letzte Verkittung mit dem oben erwähnten Ziegler'schen Kitt.

264 Endlich ist für die Etikettirung der Präparate und die ganze Einrichtung der Sammlung auch die Form und Grösse der Objectträger nicht ganz gleichgültig. In dieser Beziehung dürfte das bequeme und



Figur 162.

hübsche Format, welches Bourgoigne in Paris für seine bekannten Präparate gewählt hat (Fig. 162), als Muster zu empfehlen sein. Es ist dasselbe, welches auch in den englischen

Sammlungen eingeführt ist: Objectträger von 72^{mm} Länge auf 24^{mm} Breite (3 Zoll engl. Maass zu 1 Zoll). Das vom Tauschverein in Giessen vorgeschlagene Format von 48^{mm} Länge auf 28^{mm} Breite ist unseres Erachtens unschön und weniger bequem.

Zur Bezeichnung des Präparates pflegt man gewöhnlich zwei Etiketten anzubringen: eine auf der linken Seite des Objectträgers mit dem Namen des aufbewahrten Gegenstandes, eine zweite auf der rechten mit der Nummer der Sammlung oder sonstigen Bemerkungen. Ist es von Wichtigkeit, eine bestimmte Stelle im Präparat leicht wieder zu finden, so soll überdiess noch Raum für die betreffenden Zeichen übrig bleiben. Man hat zwar in neuerer Zeit zur Erleichterung dieses Wiederfindens sogenannte Indicatoren construirt, doch bleibt das von Hoffmann vorgeschlagene Mittel: auf dem Objecttisch zu beiden Seiten der Oeffnung zwei Kreuze einzuschneiden und genau über denselben zwei gleiche Kreuze auf die Objectplatte zu zeichnen, nachdem das Object vorher in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht worden, immer das einfachste und zweckmässigste.

Will man mikroskopische Präparate auf einander schichten, um sie in einem möglichst kleinen Raume aufzubewahren, so ist es rathsam, zu beiden Seiten des Objectes schmale Glasstreifen, welche das Deckgläschen

etwas überragen, quer über den Objectträger zu kitten. Manche pflegen diese Schutzleisten auch etwas breiter zu wählen und dann zugleich als Deckglas für die Etiketle zu verwenden. Den Vorzug verdient indess immerhin die Aufbewahrung der Präparate in Kästchen von Holz oder Pappe, deren Seitenwandungen mit Rinnen versehen sind, in welche die Objectträger einzeln eingeschoben werden. Um ein Sinken der Präparate zu vermeiden, werden solche Kästchen am besten so gestellt, dass die Glasplatten horizontal zu liegen kommen. Auch das Auflegen der Objectträger auf flache Schubladen oder Platten mit niederem Rande, die entweder wie bei einer Kommode vorziehbar sind oder der Reihe nach abgehoben werden können, hat Manches für sich; nur ist diese Einrichtung zum Versenden der Präparate nicht zu gebrauchen.

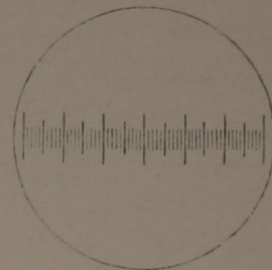
In den Einzelheiten der Einrichtung wird sich Jeder, der eine Sammlung anlegen will, nach den Verhältnissen richten und namentlich Zweck und Umfang derselben, sodann Herstellungskosten, Transportabilität etc. von Anfang an im Auge behalten, im Uebrigen aber seinen eigenen Ideen folgen. Es scheint uns überflüssig, auf diese nebensächlichen Dinge weiter einzugehen.

IV.

Das Messen mikroskopischer Objecte.

Wie wichtig die Grössenbestimmung der Objecte für die mikrosko- 265
pische Untersuchung ist, bedarf hier keiner Erörterung; auch ist es nicht unsere Aufgabe, die verschiedenen mikrometrischen Methoden, welche in älterer und neuerer Zeit in Vorschlag gekommen sind, hier ausführlich zu besprechen. Wir beschränken uns auf das Messen mit Hülfe des Glas- und Schraubenmikrometers und auf die Bestimmung von Winkelgrössen mittelst des Goniometers.

Das Glasmikrometer, wie es gegenwärtig fast ausschliesslich im Gebrauch ist, besteht aus einer im Oculareinsatz angebrachten oder zum Einschieben in denselben bestimmten Glasplatte, auf welcher mit dem Diamant eine hinreichend feine Theilung eingeritzt ist. Bei den meisten sind die grössern Abschnitte, wie auf einem gewöhnlichen Maassstab, durch vorspringende Theilstriche bezeichnet (Fig. 163); die altern Theilungen mit quadratischen Maschen finden wir auf den neuesten Preiscourants nicht mehr verzeichnet. Die Ocularmikrometer der deutschen und französischen Optiker stimmen überdiess,



Figur 163.

soviel uns bekannt, durchgehends darin überein, dass sie nach dem metrischen Maass und zwar gewöhnlich so construirt sind, dass auf den Millimeter 10 Theilstriche kommen.

Es versteht sich übrigens von selbst, dass die Theilungen des Ocularmikrometers zunächst nur dazu dienen können, die Grösse des reellen Bildes zu messen. Auf die Objecte selbst bezogen, fällt ihr Werth natürlich um so kleiner aus, je stärker die Objectivvergrösserung, und muss daher für die einzelnen Systeme besonders bestimmt werden. Wird z. B. die Vergrösserungsziffer zweier Objective in Verbindung mit dem Collectiv beziehlich zu 20 und 50 angenommen, so entspricht die Länge von $0,1^{\text{mm}}$ im Oculareinsatz einem Objectdurchmesser von 5 Mik. und 2 Mik.

Um den relativen Werth der Mikrometertheilungen zu bestimmen, bedient man sich am einfachsten der Objectmikrometer, wie sie gegenwärtig von den meisten Optikern zu diesem Zwecke gefertigt werden. Es sind Glastäfelchen, auf welchen der Millimeter in 100 bis 250 Theile und darüber getheilt ist, so dass also der Abstand der Theilstriche beziehungsweise nur 10 bis 4 Mik. oder auch weniger beträgt. Bringt man nun ein solches Täfelchen unter das Mikroskop und stellt das Ocularmikrometer dergestalt auf das reelle Bild desselben ein, dass seine Theilung sich leicht mit der bekannten des Objects vergleichen lässt, so kann der fragliche Abstand der Theilstriche offenbar in derselben Weise bestimmt werden, wie diess bei einem gewöhnlichen unbekannten Maassstab geschieht, den man auf einen bekannten gelegt hat. Nehmen z. B. 10 Abstände im Ocularmikrometer auf der Objectplatte einen Raum von 25 Mik. ein, so kommt auf den einzelnen ein Werth von 2,5 Mik.

- 266** Die Fehler, welche diesem Bestimmungsverfahren und den darauf gestützten Messungen anhaften, hängen natürlich von der Genauigkeit der beiden Mikrometertheilungen ab; sie können jedoch bei der Vollendung der neuern Theilmaschinen nicht erheblich sein. Beim Ocularmikrometer, wo ohnehin nur die Gleichheit der Intervalle, nicht ihre absolute Grösse, in Betracht kommt, sind dieselben geradezu als verschwindend zu betrachten, wie man sich leicht überzeugt, wenn man die Mikrometertheilung über das reelle Bild eines beliebigen Gegenstandes hingleiten lässt: das letztere deckt stets die nämliche Zahl von Theilstrichen. Dagegen kommen bei Objectmikrometern, wie Harting nachgewiesen hat, allerdings kleine Abweichungen in dem Sinne vor, dass die Intervalle dem vom Optiker bezeichneten Werth nicht genau entsprechen, sondern etwas zu gross oder zu klein ausgefallen sind. Bei Glasmikrometern von Oberhäuser soll die Differenz 0,044, bei solchen von Plössl 0,009 des angegebenen Werthes betragen, so dass die Resultate der Messung um die genannten Bruchtheile reducirt werden müssen, um richtig zu sein. Inwieweit diese Angaben bei Mikrometertheilungen neuern Datums noch Geltung haben, wollen wir dahingestellt sein lassen; wir erinnern uns jedoch, ein und

dasselbe Object wiederholt nach Plössl'scher und Oberhäuser'scher Eintheilung gemessen zu haben, ohne auf nennenswerthe Differenzen zu stossen. Genauere Untersuchungen über diesen Gegenstand haben wir absichtlich nicht angestellt, da wir die Wichtigkeit derselben nicht einsehen; wir sind vielmehr der Ansicht, dass die bei bekanntern Firmen vorkommenden Abweichungen mit Rücksicht auf die Maassbestimmung mikroskopischer Objecte (ganz spezielle Fälle abgerechnet) von keinem Belang sind.

Bei vielen Untersuchungen, wo Messungen nothwendig sind, handelt es sich übrigens nur um relative Genauigkeit, d. h. um die Vergleichbarkeit der Resultate des nämlichen Beobachters. Der Letztere muss allerdings wissen, welche Tragweite die möglichen Fehler haben könnten, und selbstverständlich Fehlerquellen zu vermeiden suchen, durch welche die Richtigkeit seiner Schlüsse zweifelhaft würde. Er erreicht aber dieses Ziel in der Regel schon durch einige wenige rasch ausgeführte Messungen, in schwierign Fällen durch eine grössere Zahl sorgfältiger Messungen und Berechnung des arithmetischen Mittels; die Prüfung des Messinstruments selbst wird nur äusserst selten geboten erscheinen. Die Fehler, welche von letzterem herrühren, sind fast immer verschwindend klein gegen diejenigen, welche der Beobachter durch unrichtige Einstellung verschuldet. In Fragen, wo solche Fehler der Einstellung irgendwie ins Gewicht fallen, wird kein Mikroskopiker die Messungen eines Andern mit seinen eigenen vergleichen wollen; er wird sogar von diesen meist nur Ziffern der nämlichen Beobachtungsreihe in Rechnung bringen. Man darf getrost behaupten, dass, wenn Messungen verschiedener Beobachter bei irgend einer Untersuchung vergleichbar sind, diese Vergleichbarkeit noch fortbesteht, wenn die einzelnen Maasse um 5—40 Procent grösser oder kleiner gewählt werden.

Wenn manche Beobachter die Genauigkeit der directen Messung durch mehrmalige Wiederholung bis auf 0,4 Mik. gesteigert haben wollen, so sind solche Angaben für rein illusorisch zu halten, weil die Art der Einstellung innerhalb viel weiter gezogener Grenzen von der subjectiven Anschauung abhängt. Man lasse zwei geübte Beobachter an einem und demselben Object und mit demselben Mikroskop wiederholte Messungen ausführen. Das Object sei scharf begrenzt und die Messungen nach der üblichen Berechnungsweise bis auf 0,4 Mik. genau. Wenn alsdann nicht ein reiner Zufall im Spiele ist, so wird die Vergleichung der gefundenen Mittelwerthe Differenzen ergeben, welche bei Objecten von 40 Mik. Durchmesser und darüber das 5—40fache des vermeintlichen Fehlers betragen. Wozu also diese doch nur scheinbare Genauigkeit?

Die Fassung und Einrichtung der Ocularmikrometer gestattet natürlich **267** mancherlei Modificationen. Bei kleinern Instrumenten sind sie meist unbeweglich im Niveau der Blendung angebracht, womit jedoch der Nachtheil verbunden ist, dass sie von Augen mit verschiedener Sehweite nicht gleich

deutlich gesehen werden, und dass die Einstellung eines Theilstriches auf einen bestimmten Punct nur durch Verschiebung des Objectes bewerkstelligt werden kann. In dieser Hinsicht sind die zum Einschieben in den Oculareinsatz eingerichteten Mikrometer schon etwas bequemer; sie gewähren überdiess den nicht unerheblichen Vortheil, das nämliche Ocular zu Messungen und zu Beobachtungen verwenden zu können, ohne bei letztern die störenden Theilstriche immer im Gesichtsfelde zu haben. Von complicirtern Einrichtungen, die natürlich auch im Preise beträchtlich höher stehen, sei hier noch Bénéche's »Ocular mit verstellbarem Mikrometer« erwähnt, bei welchem das letztere mittelst einer Schraube seitlich verschiebbar ist, um die Einstellung zu erleichtern, und zugleich die Ocularlinse in einer Hülse auf und ab bewegt werden kann. Aehnliche Vorrichtungen zur Verschiebung in senkrechter und seitlicher Richtung besitzen auch die Mikrometeroculare von Nacet, sowie von Seibert und Kraft. Andere gestatten wenigstens die scharfe Einstellung der Theilstriche, so z. B. das Mikrometerocular von Hartnack und Prazmowski, von Verick, Chevalier etc.

268 Die Maassbestimmung mikroskopischer Objecte, welche die Intervalle der Mikrometertheilung nur theilweise ausfüllen, kann natürlich nur durch approximative Schätzung geschehen. Sind die Objecte fadenförmig, so geht man am sichersten, wenn man dieselben sich rechtwinklig mit den Theilstrichen kreuzen lässt. Das Verhältniss der Intervalle zur Fadendicke kann alsdann bis auf einen kleinen Fehler leicht bestimmt werden. Bei kugelförmigen Gegenständen empfiehlt sich, wo immer möglich, das Aneinanderreihen derselben und die Längenbestimmung der Reihe, mit deren Gliederzahl man alsdann das erhaltene Resultat dividirt. Nach demselben Princip berechnet man auch die mittlere Dicke der Schichten in Membranen, Stärkekörnern etc., und wo es angeht auch die durchschnittliche Grösse der Elementarorgane in Geweben.

269 Das Schraubenmikrometer wurde in neuerer Zeit durch die bequemen und viel wohlfeilern Glasmikrometer fast gänzlich verdrängt. Wir finden dasselbe in den Preiscourants der letzten Jahre nur bei Schieck, Merz und Plössl aufgeführt, und es ist kaum anzunehmen, dass die genannten Firmen sich eines bedeutenden Absatzes erfreuen. — Die Einrichtung des Instruments beruht auf dem in der Technik (bei Linirmaschinen, Theilmaschinen etc.) vielfach angewendeten Princip, dass die Bewegung einer Schraube dem Winkel proportional ist, um welchen ein beliebiger Punct derselben gedreht wird. Ein nach Art eines Schlittens verschiebbarer Theil des Objecttisches, auf welchem das Object liegt, wird mittelst einer Mikrometerschraube mit sehr feinen Windungen (wovon z. B. 5 auf 1 Millimeter gehen) hin oder her bewegt, bis die opponirten Randpuncte des Bildes nach einander mit einem im Ocular ausgespannten Faden zusammenfallen. Der von einem Punct bis zum andern durchlaufene

Weg kann alsdann an dem mit einer Gradeintheilung versehenen Schraubenkopf abgelesen werden, da der Werth eines Grades sich aus dem bekannten einer ganzen Umdrehung leicht berechnen lässt und folglich als gegeben zu betrachten ist.

Eine andere in England gebräuchliche Form des Schraubenmikrometers ist das Ocularschraubenmikrometer. Bei diesem sind zwei parallele Fäden im Gesichtsfelde des Oculars ausgespannt, von denen der eine durch die Mikrometerschraube gegen den andern feststehenden bewegt werden kann. Bringt man nun die Ränder des Objectivbildes mit diesen Fäden zur Deckung, so kann offenbar der Durchmesser desselben viel genauer bestimmt werden, als es mit Hülfe einer Mikrometertheilung auf Glas möglich ist. Uebrigens ist die Messung auch hier nur eine indirecte; der relative Werth der Schraubenwindungen muss für jedes Objectiv und jede Tubuslänge, ganz wie beim Glasmikrometer, besonders bestimmt werden.

Auf dem Ramsden'schen Princip, das Objectivbild statt des Objectes **270** zu messen, beruht auch das neuerdings von H. v. Mohl vorgeschlagene Schraubenmikrometer (Archiv für mikr. Anat. Bd. I. 1865). Mohl findet die gewöhnliche Art, wie dieses Princip in Anwendung kommt, entschieden fehlerhaft, weil das Bild des Objects durch das Ocular eine grössere oder geringere Verzerrung erleide, in Folge deren die Vergrösserung, je nach der Entfernung vom Centrum, etwas stärker oder schwächer ausfalle, wodurch natürlich, wie schon Harting gezeigt habe, der relative Werth der Mikrometertheilungen eine Aenderung erfahre. Um diesem störenden Einfluss der Ocularlinse zu entgehen, misst Mohl die Grösse des Objectivbildes nicht unter dem feststehenden Ocular durch Bewegung des Spinnenfadens, sondern führt das Ocular mit dem Fadenkreuz mittelst der Mikrometerschraube quer über das Bild weg, so dass bei der jedesmaligen Einstellung nur das Centrum desselben optisch wirksam ist.

Wir sind der Ansicht, dass der angeblich störende Einfluss der Ocularlinse, welcher durch das vorgeschlagene Verfahren beseitigt werden soll, in Wirklichkeit nicht vorhanden ist. Denn es ist völlig gleichgültig, ob die Ocularlinse gleichmässig oder ungleichmässig vergrössere, wofern nur das Bild, das sie entwirft, die zur genauen Einstellung nöthige Schärfe besitzt. Die Ebene des Objectivbildes fällt ja mit der Ebene der Mikrometertheilung zusammen, und der Raum zwischen den beiden Rändern, den die Mikrometerschraube zu durchlaufen hat, ist eine Grösse, welche von der Verzerrung des Bildes durch die Ocularlinse ganz und gar unabhängig ist, da Bild und Maass durch das Ocular die gleichen Veränderungen erfahren. Sind die Ränder des Objectivbildes scharf und bestimmt gezeichnet, so dass die Fäden im Ocular genau darauf eingestellt werden können, so mag die Ocularlinse am Rande doppelt so stark vergrössern als in der Mitte, das Resultat der Messung bleibt hiervon unberührt. Die

Harting'schen Grössenbestimmungen *), wonach 40 Abtheilungen eines Glasmikrometers, nach einander einzeln und im Centrum des Gesichtsfeldes gemessen, im Durchschnitt je 73,8 Graden des Index entsprachen, während die Gesamtausdehnung der 40 Abtheilungen, direct gemessen, nur 73,5 Grade (statt 73,8) ausmachte, beweisen nur, dass das gemessene Objectivbild selbst ungleichmässig und zwar gegen den Rand zu schwächer vergrössert war. **) Es ist diess ein Uebelstand, dem man in höherem oder geringerem Grade wohl bei allen Mikroskopen begegnet und dessen schädlichen Einfluss man in den Fällen, wo es auf möglichste Genauigkeit ankommt, nur dadurch beseitigen kann, dass man den relativen Werth der Theilstriche oder der Schraubenwindungen des Mikrometers mit Hülfe eines Objectes bestimmt, welches mitten im Gesichtsfelde denselben Raum einnimmt wie das zu messende. Handelt es sich z. B. um die genaue Grössenbestimmung eines Objectes, dessen Collectivbild 5 Theilstriche im Ocularmikrometer bedeckt, so wählt man zur Bestimmung der Mikrometertheilungen oder Schraubenwindungen einen Abstand auf dem Objectmikrometer, welcher der nämlichen Zahl von Theilstrichen im Ocular entspricht. Daraus folgt denn auch, dass das zu messende Object immer in die Mitte des Gesichtsfeldes gebracht werden muss.

Das Mohl'sche Ocularschraubenmikrometer kann hienach keine andern Vortheile gewähren als diejenigen, welche allfällig mit der grössern Schärfe des Bildes in der Mitte des Gesichtsfeldes verbunden sind, und es ist nicht anzunehmen, dass diese Vortheile bei Objecten von höchstens 20—30 Mik. im Durchmesser, für welche das Instrument bestimmt ist, nachweisbar seien.

- 271 Dass mit gut gearbeiteten Schraubenmikrometern sehr genaue Messungen ausgeführt werden können, bedarf keiner Erörterung. Nach Harting soll bei einem Plössl'schen Instrument der wahrscheinliche Fehler einer einzelnen Messung nur c. $\frac{1}{3}$ Mik. und im Mittel aus einer Anzahl Messungen nur c. $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{13}$ Mik. betragen. Dabei ist jedoch selbstverständlich vorausgesetzt, dass der Beobachter richtig einstelle. Wer Interferenzlinien für die Umrisse des Objects ansieht oder durch optische Effecte anderer Art sich irre machen lässt, der wird auch mit dem genauesten Instrument höchst fehlerhafte Resultate erhalten, namentlich wenn der zu messende Gegenstand sehr klein ist. Das richtige Sehen bleibt demnach, wie bereits hervorgehoben, immer die Hauptsache.

Sollen wir schliesslich noch ein Wort über die Bezeichnungsweise der mikrometrischen Grössen hinzufügen, so geht unsere Ansicht dahin, dass der Harting'sche Vorschlag, den Mikromillimeter ($= 0,001^{\text{mm}}$) als Einheit

*) Mikroskop, 2. Aufl. II, p. 240.

**) Wie Harting dazu kommt, diese Differenzen aus der stärkern Vergrösserung der Randpartieen zu erklären, ist uns unverständlich. Ueber die Ursachen der gegen den Rand zu schwächeren Vergrösserung vgl. man pag. 34 und ff.

zu gebrauchen, allgemeine Beachtung verdiene. Es scheint uns jedenfalls am zweckmässigsten, irgend eine Einheit, welche kleiner ist, als die meisten der zu messenden Objecte, ein für allemal festzusetzen, weil wir ja auch sonst sowohl Zeit als Raum mit solchen Einheiten zu messen pflegen. Da nun das französische Maass in der Wissenschaft unzweifelhaft das bekannteste ist und der Mikromillimeter überdiess auch für die kleinsten noch messbaren Objecte einen bequemen Maassstab bildet, so wüssten wir nicht, was sich gegen die Harting'sche Bezeichnungsweise einwenden liesse. Grössere Dimensionen werden natürlich immer in Millimetern, noch grössere in Metern ausgedrückt, so dass die maassbestimmende Zahl nie mehr als drei Ziffern erhält. Zieht man es vor, die gefundenen Werthe immer in Millimetern zu veröffentlichen, so eignet sich hiezu am besten ein Decimalbruch, wie z. B. $0,0048^{\text{mm}}$ ($= 4,8$ Mik.), da alsdann Jedermann weiss, dass in der dritten Decimale die Einheiten der Mikromillimeter zu suchen sind. Gewöhnliche Brüche, wie $\frac{1}{652}$ oder $\frac{1}{289}^{\text{mm}}$, geben unseres Erachtens eine eben so unklare Vorstellung von der wirklichen Grösse eines Objectes, als die Ausdrücke $\frac{1}{652}$ oder $\frac{1}{289}$ Jahr von der entsprechenden Zeit. Dazu kommt, dass dieselben für die Rechnung unstreitig weniger bequem sind, als ganze Zahlen oder Decimalbrüche. Vollends verwerflich aber sind die gewöhnlichen Brüche mit beliebigem Zähler, wie $\frac{7}{193}$, $\frac{3}{239}$ etc., da ja doch erst das Verhältniss des Zählers zum Nenner durch Division bestimmt werden muss, bevor man sich annähernd eine Vorstellung von der gemessenen Grösse machen kann.

Zur Vergleichung der verschiedenen Maasseinheiten, die man bei 273 Grössenangaben mikroskopischer Objecte neben dem Millimeter und Mikromillimeter noch anzuwenden pflegt, dient nachstehende kleine Reductionstabelle.

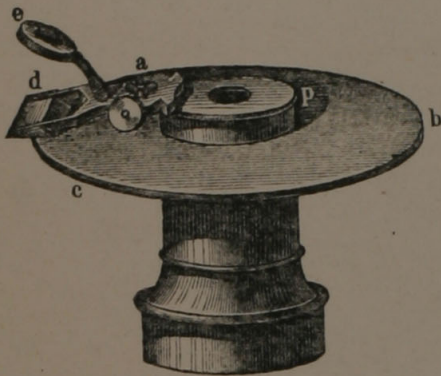
Die Pariser Linie ist	=	2,2558	Millimeter
Der Pariser Zoll ist	=	27,0700	„ „
Die Englische Duodecimal-Linie ist	=	2,4166	„ „
Der Englische Zoll ist	=	25,3997	„ „
Die Rheinische Linie ist	=	2,1802	„ „
Der Rheinische Zoll ist	=	26,4622	„ „
Die Wiener Linie ist	=	2,4952	„ „
Der Wiener Zoll ist	=	26,3449	„ „

Das umgekehrte Verhältniss stellt sich hienach folgendermaassen heraus :

Ein Millimeter	=	0,4433	Pariser Linie.
	=	0,0369	„ Zoll.
	=	0,4724	Englische Linie.
	=	0,0394	„ Zoll.

Ein Millimeter = 0,4587 Rheinische Linie.
 = 0,0384 » Zoll.
 = 0,4555 Wiener Linie.
 = 0,0379 » Zoll.

274 Was nun noch die Bestimmung von Winkelgrössen betrifft, so geschieht dieselbe am besten mit Hülfe des Goniometers. Eine sehr zweckmässige Einrichtung desselben ist die von C. Schmidt (Fig. 164). Dieselbe besteht aus einer mit dem Ocular verbundenen, in Grade getheil-



Figur 164.

ten Kreisplatte, auf welcher ein Nonius angebracht ist, mit dem gleichzeitig ein im Ocular ausgespanntes Fadenkreuz um seinen Kreuzungspunct gedreht wird. In diesen letztern kommt beim Gebrauch die Spitze des zu messenden Winkels zu liegen, während der eine der beiden Fäden nacheinander mit den Schenkeln desselben zur Deckung gebracht wird. Die hiebei erforderliche Drehung wird am Nonius abgelesen. — Andere Optiker bringen die Gradeintheilung am runden

drehbaren Objecttisch an, so dass beim Messen das Fadenkreuz im Ocular unbeweglich bleibt, während der Tisch mit dem Objecte gedreht wird. Mit dieser Einrichtung ist jedoch der Nachtheil verbunden, dass das Object wegen mangelhafter Centrirung des Tisches beim Drehen desselben seinen Ort im Gesichtsfelde verändert und daher immer wieder eingestellt werden muss, was mit hinreichender Genauigkeit nur mittelst Schrauben, die auf den nach zwei Richtungen verschiebbaren Tisch wirken, geschehen kann. Aus diesem Grunde verdient das Oculargoniometer entschieden den Vorzug.

In Ermangelung eines Goniometers mag das Zeichnen des Winkels mit der Camera lucida als Nothbehelf dienen. Man verlängert die beiden Schenkel mit Hülfe des Lineals und misst hierauf den Winkel mit einem gewöhnlichen Transporteur.

Wie man übrigens auch verfahren mag, es bleibt immer eine Fehlerquelle zu berücksichtigen übrig, welche von der Genauigkeit des Messinstrumentes unabhängig ist. Wenn wir auch von den mancherlei Unregelmässigkeiten, welche die Schärfe der Linien beeinträchtigen und den Parallelismus parallel sein sollender Kanten stören, ganz und gar absehen; wenn wir voraussetzen, die Einstellung auf die beiden Schenkel des zu messenden Winkels sei mit aller nur wünschbaren Schärfe möglich, so lässt sich trotz alledem nicht entscheiden, ob die Ebene des Winkels genau mit derjenigen des Gesichtsfeldes zusammenfalle oder etwas gegen dasselbe geneigt sei. Nun ist es einleuchtend, dass eine Hebung oder Senkung des Scheitels den Winkel zu gross, eine Drehung um den einen Schenkel da-

gegen zu klein erscheinen lässt; dass folglich die Ergebnisse der Messung je nach der Lage beträchtlich differiren oder auch bei ungleichen Winkeln gleich ausfallen können. Man kann diesen Uebelstand bei krystallographischen Untersuchungen nie ganz beseitigen, man kann ihm nur einigermaassen steuern, indem man die Messungen an gleichwerthigen Flächen öfter wiederholt. In manchen Fällen ist es auch möglich, die Neigungen dergestalt zu controliren, dass man ganz bestimmt weiss, ob das erhaltene Maass eines Winkels, insofern es überhaupt ungenau ist, nach $+$ oder $-$ von der wirklichen Grösse abweicht. Handelt es sich z. B. um Tafeln, welche als verkürzte klinorhombische Säulen zu betrachten sind (Fig. 165), so ist die gleiche Breite der in der Figur schraffirten Säulenflächen ein Beweis, dass die Endfläche weder nach rechts, noch nach links geneigt ist. In dieser Lage können folglich die Winkel a und b jedenfalls nicht kleiner erscheinen, als sie wirklich sind, da eine allfällige Neigung in der Richtung von a nach b dieselben vergrössern müsste. Aehnliche Anhaltspunkte bieten auch manche andere Krystallformen, und es ist die Aufgabe des Beob-

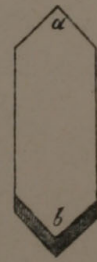


Fig. 165.

achters, sie in jedem gegebenen Falle, wo immer möglich, aufzufinden und zu berücksichtigen. Was nützen Goniometer, welche den Drehungsbogen bis auf 1 Minute genau abzulesen gestatten, wenn die vom Objecte herrührenden Fehler 1—2 Grade betragen? Und man glaube nicht, dass solche Fehler bei kleinen Octaedern, Rhomboedern etc. so ganz leicht zu vermeiden seien. Es gehört, wie uns vielfache Erfahrung gezeigt hat, alle Sorgfalt eines geübten Beobachters dazu, um eine Winkelbestimmung an Krystallen, wie sie gewöhnlich in Pflanzenzellen vorkommen oder nach Zusatz von Reagentien in der Beobachtungsflüssigkeit entstehen, mit Sicherheit bis auf $\frac{1}{3}$ Grad genau auszuführen. Das Goniometer darf unter solchen Verhältnissen geradezu als vollkommen betrachtet werden.

V.

Das Zeichnen mikroskopischer Objecte.

Wer sich einlässlicher mit mikroskopischen Untersuchungen beschäf- 275 tigt, soll im Stande sein, das Wahrgenommene in Abbildungen wiederzugeben, welche wenigstens in allen wesentlichen Puncten mit dem erhaltenen Eindruck übereinstimmen. Wir sagen: mit dem erhaltenen Eindruck, nicht mit dem Object selbst; denn eine weiter gehende Naturwahrheit, als eben diese relative, ist nicht denkbar. Man kann billiger Weise nicht verlangen, dass die Hand des Zeichners richtig darstelle, was das Auge des Beobachters unrichtig gesehen hat. Die Anforderungen, die man gewöhnlich

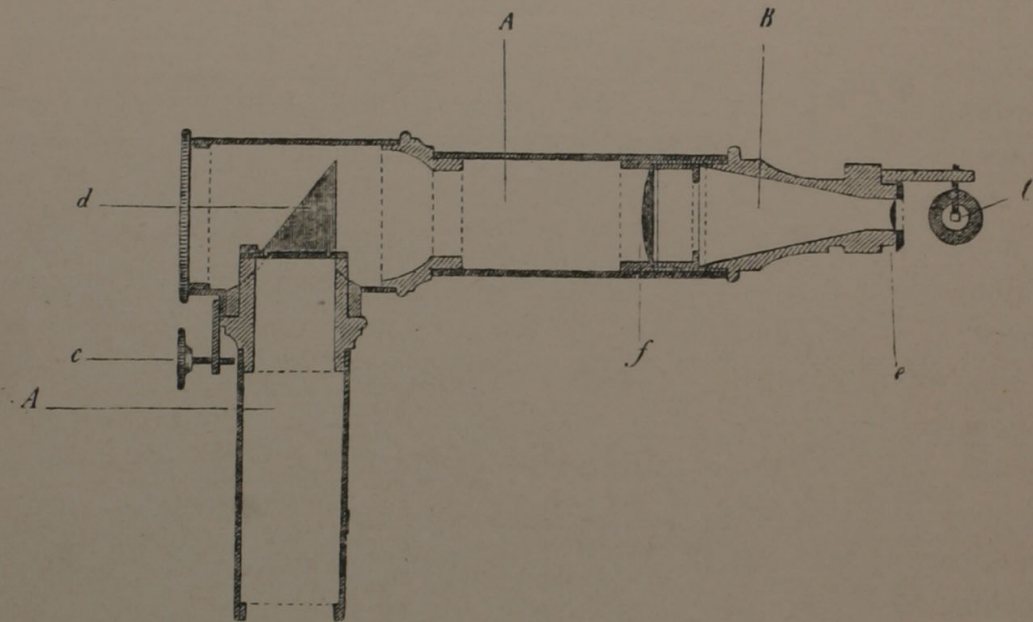
an den Zeichner zu stellen pflegt: richtige Auffassung, Verständniss des Gegenstandes, Naturwahrheit ohne Subjectivität etc. müssen demnach streng genommen auf den Beobachter bezogen werden; der Zeichner hat bloss die Aufgabe, die Vorstellung, welche der Beobachter sich angeeignet hat, sie mag nun richtig oder unrichtig sein, in Andern wieder zu erwecken. Absolute Naturwahrheit bleibt übrigens für den Mikroskopiker ein Ideal, nach dem er zwar streben soll, das er aber immer nur annähernd erreicht. Seine Zeichnungen sind im günstigsten Falle doch stets nur mit Rücksicht auf diejenigen Punkte naturgetreu, zu deren Versinnlichung sie angefertigt wurden. Mehr wird der Autor selbst, wenn er dieselben nach Jahren wieder zu Rathe zieht, nicht darin suchen.

276 Da die genaue Wiedergabe der Umrisse bei complicirteren Zeichnungen auch für den Geübten eine schwierige Sache ist, so bedient man sich verschiedener Hilfsapparate, welche das mikroskopische Bild auf die Papierfläche zu projeciren gestatten. Die bekanntesten derselben lassen sich in folgende Kategorien bringen.

1) Apparate, welche die aus dem Ocular hervortretenden Lichtbündel durch Reflexion so ablenken, dass das Bild auf eine senkrechte oder mehr oder weniger geneigte Fläche projicirt wird. Die (letzte) reflectirende Fläche ist hiebei mit einer kleinen Oeffnung versehen oder von sehr geringer Ausdehnung, so dass das Auge in beiden Fällen durch einen Theil der Pupille noch die Bleistiftspitze sieht, mit der man die Umrisse des Bildes umzieht. Die Bleistiftspitze wird also direct, das mikroskopische Bild dagegen durch Spiegelung gesehen. Da nun nach Früherem mit einmaliger Spiegelung eine halbe Umkehrung des Bildes verbunden ist, so verdienen diejenigen Apparate den Vorzug, bei denen eine zweimalige Reflexion in der nämlichen Ebene — bei Prismen eine zweimalige innere Totalreflexion — stattfindet.

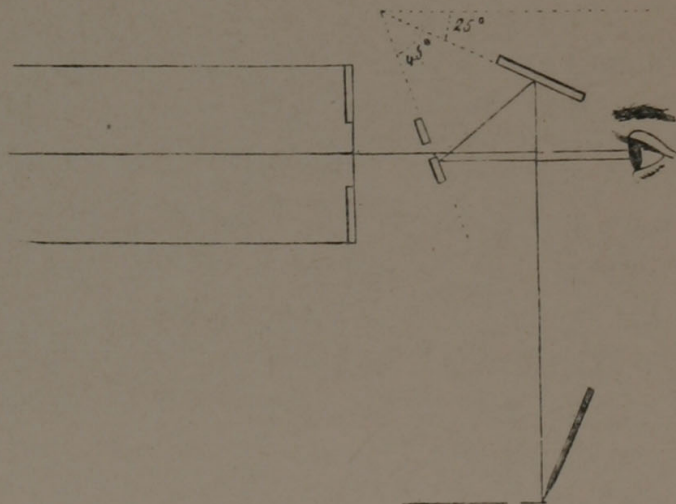
Hieher gehören der Sömmerring'sche Spiegel, das ältere Zeichnenprisma von Nacet und das gleichseitige Prisma — beide mit einmaliger Reflexion, ferner die Camera lucida nach Wollaston, Milne Edwards, Amici und Oberhäuser — alle mit zweimaliger Reflexion. Die Oberhäuser'sche Camera lucida, welche gegenwärtig von Hartnack, Verick, Plössl, Schieck, Bénèche, Seibert und Krafft geliefert wird, ist mit einem rechtwinklig gebrochenen Rohre *A* (Fig. 466) ausgestattet und gewährt dadurch den Vortheil, dass das als Projectionsebene dienende Zeichnungspapier unmittelbar auf den Arbeitstisch gelegt werden kann, ein besonderes Gestell also nicht nöthig ist. Beim Gebrauche wird der senkrechte Arm des Apparats nach Wegnahme des Oculars in die Mikroskopröhre eingeschoben und das Prisma *C* durch Drehung der Röhre *B* so gestellt, dass seine Reflexionsebene mit derjenigen von *d* zusammenfällt. — Bei den übrigen Apparaten muss die Projectionsebene eine solche Lage haben, dass die in der Richtung der Mikroskopaxe ausfahrenden Strahlen dieselbe nach

der (letzten) Reflexion, rückwärts verlängert, senkrecht treffen. In Folge dessen wird es nothwendig, sich beim Zeichnen eines Gestelles zu bedienen, welches diese Bedingung zu erfüllen gestattet. Wird sie nicht erfüllt, so erscheint das projecirte Bild verzerrt.



Figur 166.

2) Apparate, welche die von der Bleistiftspitze ausgehenden Lichtstrahlen durch zweimalige Reflexion so ablenken, dass dieselben von Punkten des Gesichtsfeldes zu kommen scheinen. Das mikroskopische Bild wird hier durch eine Oeffnung der letzten reflectirenden Fläche oder neben derselben vorbei direct, die Bleistiftspitze dagegen indirect durch Spiegelung gesehen. Die Anwendung dieses Princips gestattet natürlich ähnliche Modificationen, wie die des vorhergehenden. Vorrichtungen dieser Art sind der Zeichnenapparat nach Gerling, die Camera lucida von Nacet, Chevalier, Nobert etc. und das Hagenow'sche Dikatopter (Fig. 167). Letzteres ist nach Art der Oberhäuser'schen Camera lucida mit einem horizontalen Rohre versehen, so dass das mikroskopische Bild eine halbe Umkehrung erfährt. —



Figur 167.

Beim Gebrauche gilt auch hier die Regel, dass die Projectionsebene im Spiegelbilde mit dem Gesichtsfelde zusammenfallen oder doch wenigstens parallel sein muss.

Welche von den genannten Vorrichtungen hinsichtlich der bequemen Handhabung den Vorzug verdiene, mag dahingestellt bleiben, da man hierüber je nach Gewohnheit und Uebung verschiedener Ansicht sein kann. Soviel wird indess Jedermann einleuchten, dass eine halbe Umkehrung, wie sie eine einmalige Reflexion veranlasst (wobei z. B. eine rechtsgewundene Spirale in eine linksgewundene verwandelt wird), als wesentlicher Uebelstand zu betrachten ist, der nicht bloss die Ausführung der Zeichnung erschwert, sondern unter Umständen auch mancherlei Täuschungen zur Folge haben kann. Das mit dem Apparat in diesem Fall erhaltene Spiegelbild muss daher noch einmal umgekehrt werden, was am besten dadurch geschieht, dass man es am Fenster auf die Rückseite des Papiers durchzeichnet.

Die von Harting empfohlene Methode, das reelle Bild des Objectivs in einem Abstand von c. 400—500^{mm} aufzufangen und nachzuzeichnen, was natürlich nur mit durchsichtigem Papier geschehen kann, desgleichen das Verfahren von Stilling*), das ohnehin für stärkere Vergrösserungen nicht anwendbar wäre, dürften beide ihrer Umständlichkeit wegen kaum viele Nachahmer finden.

- 277** Da die Vergrösserung des projecirten Bildes von der Entfernung der Projectionsebene abhängt, so ist es nothwendig, dieselbe für den gewohnten Abstand oder auch für verschiedene Abstände direct zu bestimmen (vgl. pag. 171). Diess geschieht zweckmässig ein für allemal für die verschiedenen Objective; die Vergrösserungsziffern werden tabellarisch zusammengestellt und nebst der Tabelle über die relativen Werthe der Mikrometertheilungen im Mikroskopkasten oder in der Mappe aufbewahrt.

Die Stärke der gewählten Vergrösserung sollte bei jeder Figur angegeben werden. Am einfachsten geschieht diess durch Beisetzen der Vergrösserungsziffer: (60), (350) etc., oder auch in Form eines Bruches: $\frac{60}{4}$, $\frac{350}{4}$ etc. Das Hinzufügen eines Nenners ist übrigens ganz und gar überflüssig, da es zum Begriff der Vergrösserungszahl gehört, dass der Durchmesser des Objects als Einheit angenommen wird. Nur wenn das Bild kleiner ist, als das Object, nimmt die Vergrösserungszahl (die alsdann zur Verkleinerungszahl wird) nothwendig die Form eines Bruches an.

- 278** Die mittelst der Camera lucida erhaltene Zeichnung muss sorgfältig mit dem mikroskopischen Bilde verglichen und nöthigenfalls corrigirt werden, bevor man an die weitere Ausführung geht. Es kann nämlich leicht

*) Harting (Mikr. 2. Aufl. II. p. 295) beschreibt dieses Verfahren folgendermaassen: »Ein Stückchen Glaspapier wird mit etwas arabischem Gummi auf das Deckplättchen geklebt, unter dem sich ein mikroskopisches Präparat befindet. Nun bringt man dieses unters Mikroskop und mit einer Graveurnadel zeichnet man die Umrisse des vergrösserten Objects auf das Glaspapier. Weiterhin zeichnet man darauf ein Netz von Strichen, wodurch das ganze in viereckige Felder abgetheilt wird, und hierauf trägt man ein ähnliches Netz grösserer Vierecke auf ein Stück Papier auf und überträgt darauf die auf dem Glaspapier bewirkte Zeichnung.«

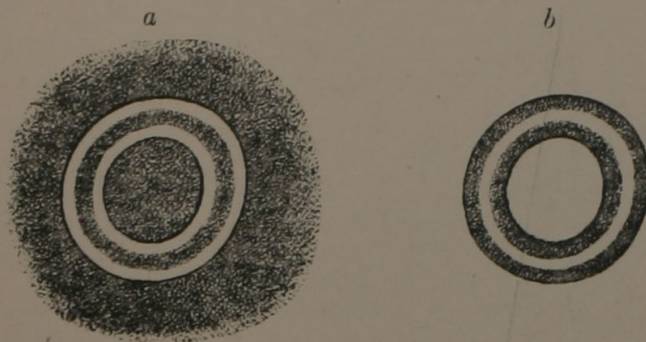
vorkommen, dass wesentliche Dimensionsverhältnisse, wie z. B. die Dicke der Wandungen bei Zellgeweben, desgleichen gewisse Einzelheiten der Form im Entwurf unrichtig ausfallen, die Nachhülfe der freien Hand zur Erzielung wahrer Contouren also durchaus nothwendig wird. Die Vollen-
dung der Zeichnung ist ohnehin nur mit freier Hand möglich; es ist diess das schwerste und letzte Stück Arbeit, wobei neben der Gewissenhaftigkeit auch die Geschicklichkeit des Zeichners in Betracht kommt. Wer zeichnen gelernt hat, weiss schon mit einfachen Umrissen, die er hie und da etwas verstärkt, mehr zu erreichen, als der Ungeübte mit Wischer und Farbe. Der Letztere ist in schwierigen Fällen gar nicht im Stande, ein annähernd naturwahres Bild herzustellen. Es ist daher Jedem, der sich mikroskopischen Forschungen widmet, dringend zu empfehlen, sich von Anfang an im Wiedergeben des Gesehenen zu üben. Am besten geschieht diess natürlich immer unter der Leitung eines Lehrers; Bücher bilden einen so schlechten Ersatz, dass wir gänzlich darauf verzichten, denselben hier bieten zu wollen.

Man kann übrigens in der Ausführung der Abbildungen je nach dem Zwecke, den man erreichen will, sehr verschieden weit gehen. In manchen Fällen ist eine Umrisszeichnung zur Versinnlichung morphologischer oder anatomischer Verhältnisse vollkommen genügend; in andern beschränkt sich die weitere Ausführung auf eine rein conventionelle Schattirung gewisser Partieen, auf deren Hervorhebung man gerade Werth legt. In gleicher Weise kann bei einer geschichteten oder fibrösen Substanz der Schichten- oder Faserverlauf durch einfache Linien dargestellt werden; die Linien bezeichnen aber in diesem Fall weder dichtere noch weichere Schichten, sie deuten bloss das Vorhandensein derselben an und veranschaulichen ihren Verlauf.

Anders gestaltet sich die Aufgabe, wenn die Abbildung bis auf die kleinsten noch darstellbaren Details naturwahr sein soll, in dem Sinne wenigstens, dass Licht- und Schattenvertheilung in rationeller Weise zur Veranschaulichung kommen. Man kann aber auch dann noch auf zwei verschiedene Arten verfahren. Die grösste Annäherung an die Natur würde man freilich durch genaue Wiedergabe der Lichtabstufungen, wie sie im mikroskopischen Bilde wirklich vorhanden sind, erreichen, wobei folgerichtig das Gesichtsfeld selbst einen seiner Helligkeit entsprechenden Ton erhielte. Die dichtern Schichten einer Membran müssten also hier am hellsten, die weichern etwas weniger hell, die Schatten in allen Uebergängen bis zum tiefen Schwarz dargestellt werden. Auf diese Weise könnte eine geschickte Hand die realistische Durchbildung der Zeichnung so weit steigern, dass dieselbe dem mikroskopischen Bilde täuschend ähnlich würde.

Von gleichem Werth für wissenschaftliche Zwecke wäre auch das entgegengesetzte Verfahren, wobei die hellsten Stellen am dunkelsten, die

dunkelsten am hellsten gehalten werden. Es kommt ja hier, wie in der Kartographie, nur darauf an, die Zeichnung nach einem bestimmten Prin-



Figur 168.

cip, gleichviel nach welchem, durchzuführen. Der Querschnitt einer cylindrischen Zelle, deren Membran aus zwei oberflächlichen dichtern und einer mittlern weichern (röthlichen) Schicht besteht, liesse sich also nach dem Gesagten eben so gut durch Fig. 168 *b* als durch Fig. 168 *a*

darstellen. Die Darstellung auf weissem Grund würde sich überdiess besser zur Vervielfältigung eignen und überhaupt mehr practische Vortheile bieten.

- 279** Prüfen wir nun nach diesen Erörterungen die anatomischen Abbildungen, wie wir sie in neuern mikroskopischen Arbeiten finden, so muss uns auffallen, dass in der Regel weder das eine noch das andere Princip festgehalten ist. Die meisten Zeichner (wir nehmen uns selbst nicht aus) verfahren bewusst oder unbewusst in willkürlich eklektischer Weise, indem sie z. B. dickere Zellwandungen hell, dagegen die faserförmigen Verdickungen derselben, desgleichen die im Lumen enthaltenen Stärkekörner etc. dunkel darstellen. Jeder, der sich die Mühe nehmen will, ausgeführte anatomische Abbildungen hinsichtlich der Darstellungsweise zu prüfen, wird fast überall auf die angegebenen Inconsequenzen stossen. Wir wollen als Beispiel nur die eleganten Tafeln zum „Lehrbuch der Anatomie und Physiologie“ von Schacht erwähnen. Es finden sich dort manche Figuren, die man auf den ersten Blick für sehr ausgeführte Abbildungen halten möchte, die sich aber bei genauerer Untersuchung als blosse Umrisszeichnungen herausstellen, in welchen die willkürlichsten Schattirungen zur Hervorhebung gewisser Theile dienen. Die concentrischen Kreise, womit z. B. die Schichtung der Bastzellen angedeutet ist (V, 3), entsprechen weder den weichen, noch den dichtern Schichten; denn wollte man das annehmen, so wäre das Dickenverhältniss der beiderlei Schichten ein total unrichtiges. Dasselbe gilt auch von andern geschichteten Membranen (III, 18, 26—28), sowie von den dargestellten Stärkekörnern. Um gewisse Zellcomplexe hervorzuheben, sind zuweilen die doppelt conturirten Membranen hell gelassen, die der umgebenden Zellen dagegen schattirt u. s. w. Wir kennen überhaupt keine mikroskopischen Darstellungen von Schacht, welche nicht in ähnlicher Weise schematisch gehalten wären. Es ist überflüssig zu bemerken, dass wir damit keineswegs eine tadelnde Kritik zu üben beabsichtigen, da ja die schematische Darstellungsweise ihre Berechtigung hat, so gut wie jede andere. Wir wollten nur eine Thatsache constatiren, deren sich Mancher, wie es scheint, gar nicht bewusst ist.

Zu den Willkürlichkeiten, die man sich bei der Darstellung mikrosko- 280
pischer Objecte gewöhnlich erlaubt, muss auch die beliebige Combination
verschiedener Einstellungen gerechnet werden. Durchschnitte durch paren-
chymatische Gewebe werden z. B. nicht selten so dargestellt, als ob die
einzelnen Zellen genau in gleicher Höhe lägen und durchgehends in der
Mitte durchschnitten worden wären. Bei Spiralgefässen, Ringgefässen etc.
vereinigt man häufig die Flächenansicht mit der mittlern Durchschnichts-
ansicht; zuweilen kommt sogar noch die abgekehrte Seite hinzu. Andere
pflegen die mikroskopischen Objecte beliebig vergrössert in Gedanken zu
construiren und dann so darzustellen, wie sie bei auffallendem oder durch-
fallendem Licht dem blossen Auge erscheinen würden. Nach diesem Princip
ist z. B. in Fig. 469 eine abgerollte Spiralfaser gezeichnet. Man erlaubt
sich dabei die wunderlichsten Freiheiten, indem man z. B. Zell-
membranen voraussetzt, die durchsichtig und undurchsichtig zu-
gleich sind; durchsichtig insofern, als die nach innen vorspringenden
Verdickungen (Ring- und Spiralfasern etc.) sichtbar gedacht wer-
den, undurchsichtig dagegen mit Rücksicht auf den Verlauf der
Spirale (an den Kreuzungsstellen wird nur die zugekehrte Seite
gezeichnet) und die Schattirung der umgebenden Hülle. Die Spirale
selbst wird bald auf der zugekehrten, bald auf der abgekehrten
Seite schattirt oder schraffirt, eine bestimmte Beleuchtung aber
weder im einen noch im andern Falle vorausgesetzt. Kurz es
herrscht in der Darstellung mikroskopischer Objecte, wenn man von den
Formverhältnissen in der Ebene der Zeichnung, die Jeder so genau als
möglich giebt, absieht, eine Willkür, die buchstäblich keine Schranken
kennt.



Fig. 469.

Die Widersprüche, an denen die übliche Darstellungsweise leidet,
lassen auch nicht so bald eine gründliche Abhülfe erwarten. Einerseits
das flächenhafte mikroskopische Sehen bei durchfallendem Licht und grosser
Oeffnung der zum Auge gelangenden Lichtkegel; andererseits das Bestreben,
die Objecte in ihrer Körperlichkeit oder doch in verschiedenen Durch-
schnittsansichten zugleich dazustellen; dann die Gewohnheit, bei solchen
Darstellungen sich an das Sehen mit blossen Auge und bei auffallendem
Licht zu halten, und endlich die Schwierigkeit oder gar Unmöglichkeit, die
Bedingungen des mikroskopischen Sehens für das blosse Auge herzustellen
— wir wüssten in der That nicht, wie diese Gegensätze je in befriedigender
Weise gelöst werden könnten. Die naturgemässe Wiedergabe des mikro-
skopischen Bildes in photographisch-treuer oder doch in rationell-schema-
tischer Weise ist und bleibt nur für eine bestimmte Einstellung denkbar,
bei körperlichen Darstellungen ist sie ein Ding der Unmöglichkeit.

Seit einigen Jahren hat neben dem Zeichnen mikroskopischer Objecte 281
auch die mikrophotographische Aufnahme derselben eine nicht
zu unterschätzende Bedeutung erlangt. Präparate, deren Beschaffung oder

Herstellung mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist, können auf diesem Wege gewissermassen fixirt und somit auch für spätere Untersuchungen nach neuen Gesichtspunkten verwerthet werden, während der Zeichner je-
weilen nur diejenigen Punkte genau wiedergiebt, auf welche er bei der Beobachtung gerade sein Augenmerk richtet. Dieser Vorzug des mikro-
photographischen Verfahrens ist indess bis dahin mehr auf zoologischem
als auf botanischem Gebiete fühlbar geworden. Da überdiess die Hand-
habung der mikroskopischen Photographirapparate eine genaue Kenntniss
der zweckdienlichen Einrichtungen und Operationsmethoden voraussetzt,
worüber in neuerer Zeit besondere Werke erschienen sind, so verweisen
wir Diejenigen, welche sich für diese Seite der mikroskopischen Technik
näher interessiren, auf die betreffende Specialliteratur *).

*) Das vollständigste Werk über dieses Thema ist: Die Photographie als Hülfsmit-
tel mikroskopischer Forschung, nach dem Französischen von Dr. A. Moitessier
deutsch bearbeitet und durch zahlreiche Zusätze erweitert von Dr. B. Benecke (Braun-
schweig, 1868). — Vgl. ferner: Gerlach, die Photographie als Hülfsmittel mikro-
skopischer Forschung (Leipzig, 1863).

Siebenter Abschnitt.

Die Polarisationserscheinungen.

I.

Einrichtung des Polarisationsmikroskops.

282

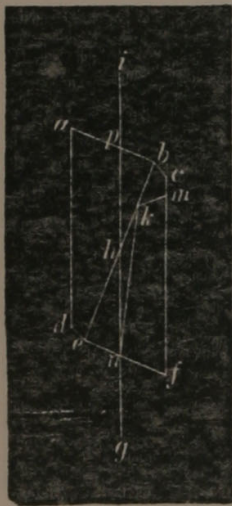
Bei der Untersuchung mikroskopischer Objecte im polarisirten Licht ist vor Allem eine zweckmässige Einrichtung des Polarisationsmikroskops von Wichtigkeit. Wenn wir als bekannt voraussetzen, dass ein solches Instrument zwei polarisirende Vorrichtungen besitzen muss: einen sogenannten Polarisator unter dem Object und einen Analysator über dem Object, so bleibt uns zunächst zu erörtern übrig, wie dieselben am zweckdienlichsten hergestellt werden und wie sie unter den gegebenen Verhältnissen wirken; sodann knüpft sich hieran die weitere Frage, welche Hilfsmittel und Nebenapparate für die Bequemlichkeit und Sicherheit der Untersuchung ausserdem noch wünschenswerth seien. Bevor wir jedoch diese Punkte in Betracht ziehen, müssen wir die Bemerkung vorausschicken, dass wir im Folgenden zunächst nur wirkliche Mikroskope im Auge haben, d. h. Instrumente, welche nach Wegnahme der polarisirenden Apparate zu gewöhnlichen Untersuchungen benutzt werden können. Polarisationsapparate von wesentlich anderer Construction, wie z. B. das sogenannte Nörrenberg'sche Polarisationsmikroskop, sollen nachträglich, soweit sie bei mikroskopischen Objecten Verwendung finden können, besonders besprochen werden.

1. Der Polarisator.

Soll der Polarisator auch bei stärkern Vergrösserungen noch brauch- 283
bar sein, so muss er einen Lichtkegel liefern, dessen peripherische Strahlen mindestens um 8—10 Grad von der Senkrechten abweichen; denn da ohnehin bloss die Hälfte des einfallenden Lichtes durchgeht, so ist eine um so grössere Convergenz desselben zur Erleuchtung des Gesichtsfeldes nothwendig. Die Herstellung eines solchen Lichtkegels lässt sich in zweierlei

Weise denken: entweder wird er vom Polarisator direct geboten, indem derselbe Strahlen von verschiedener Neigung gleich vollständig zu polarisiren vermag, oder die austretenden polarisirten Strahlen sind unter sich annähernd parallel und werden nachträglich durch eine Sammellinse, welche zwischen Object und Polarisator angebracht ist, convergent gemacht. Die letztere Einrichtung finden wir bei den sogenannten Polarisationsapparaten, wie sie von Dove, Nörrenberg etc. hergestellt wurden; sie ist überall anwendbar, wo der Raum das Einschalten eines Condensors über den reflectirenden oder brechenden Vorrichtungen gestattet, und bedarf nach dem, was früher über die Beleuchtung im Allgemeinen gesagt wurde, keiner weiteren Erklärung. Hartnack, Merz u. A. haben dieselbe in neuerer Zeit auch beim Polarisationsmikroskop eingeführt; hier sind indess auch Polarisatoren ohne Sammellinse, welche vollständig polarisirtes Licht mit hinreichender Convergenz liefern, vielfach im Gebrauch.

284 Die bekannteste polarisirende Vorrichtung dieser Art ist das Nicol'sche Prisma. Da die Construction desselben in jedem physikalischen



Figur 470.

Lehrbuche besprochen ist, so glauben wir sie hier als bekannt voraussetzen zu dürfen; wir wollen zur Orientirung bloss beifügen, dass in Fig. 470 *ab* und *ef* die beiden künstlich angeschliffenen Flächen darstellen, welche unter 68° gegen die Seitenkante *ad* geneigt sind, während man in *bc* und *de* noch die Flächen eines stumpfern Rhomboeders angedeutet sieht. Die Trennungsfläche *be*, an der die beiden Hälften zusammengekittet sind, bildet mit den angeschliffenen Endflächen Winkel von $89^\circ 17'$, die man folglich ohne grossen Fehler einem Rechten gleichsetzen kann. Alle genannten Flächen stehen senkrecht auf dem mit der Ebene des Papiers zusammenfallenden Hauptschnitt des Krystalls.

Die optische Wirkung eines solchen Nicol besteht nun darin, dass der von unten einfallende Strahl *gn* sich in zwei Strahlen theilt, wovon der ordentliche *nk* an der Canadabalsamschicht eine totale Reflexion erfährt und an den geschwärzten Seitenflächen des Prismas verschluckt wird, indess der schwächer gebrochene ausserordentliche durchgeht und in der Richtung *pi* das Gesichtsfeld erreicht. Beide Strahlen sind polarisirt, und zwar der wirksame ausserordentliche senkrecht zur Ebene des Hauptschnittes; seine Polarisationssebene wird die Polarisationssebene des Nicol genannt. In der Queransicht des Prismas wird dieselbe durch die längere Diagonale bestimmt, indem die kürzere dem Hauptschnitt parallel geht.

285 Die grösstmöglichen Neigungen, welche die einfallenden Strahlen nach den verschiedenen Seiten hin erreichen dürfen, sind unter den gegebenen Verhältnissen offenbar durch die entsprechenden Grenzwinkel der totalen

Reflexion an der Balsamschicht bestimmt. Verfolgen wir zunächst die in der Papierebene nach rechts abweichenden Strahlen. Der Brechungscoefficient des Kalkspathes sei 1,6583 und derjenige des Canadabalsams nach Brewster 1,549; dann ist für den ordentlichen Strahl der Sinus des Grenzwinkels $= \frac{1,6583}{1,549}$, was für den Winkel selbst $69^{\circ} 4'$ ergibt. Ist also kf (Fig. 174) ein nach rechts abweichender einfallender Strahl und fh der ordentlich-gebrochene, so bildet dieser letztere, wenn er ein Grenzstrahl ist, mit dem Einfallslot hg den eben bezeichneten Winkel von $69^{\circ} 4'$. Zieht man jetzt durch f eine Senkrechte auf dc und verlängert dieselbe bis g , so ist δ der Einfallswinkel, γ der Brechungswinkel und z die Neigung des einfallenden Grenzstrahls zur Axe. Im Viereck $dfhg$ ist aber nach Früherem $\alpha = 89^{\circ} 17'$, folglich, da die Winkel in h und f rechte sind, $g = 90^{\circ} 43'$. Man erhält demnach:

$$\gamma = 180^{\circ} - (69^{\circ} 4' + 90^{\circ} 43') = 20^{\circ} 13'$$

und da

$$\sin \delta = \cos \varepsilon = 1,6583 \sin \gamma$$

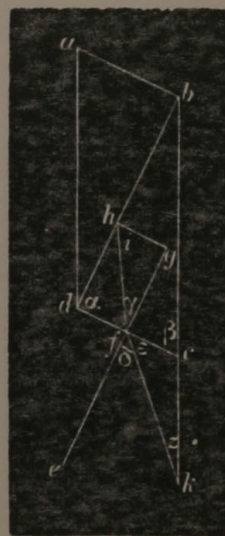
$$\varepsilon = 55^{\circ} 2'.$$

Da ferner $\beta = \varepsilon + z$, folglich $z = \beta - \varepsilon$, so ergibt sich als Maximum der Neigung:

$$z = 12^{\circ} 58'.$$

Wird dagegen der Brechungscoefficient des Canadabalsams nach Wollaston $= 1,528$ gesetzt, so erhält man für den Grenzwinkel der gänzlichen Zurückwerfung $67^{\circ} 7'$. Hiernach wird $\gamma = 22^{\circ} 10'$ und $z = 16^{\circ} 44'$.

Weniger einfach ist die Rechnung für die nach der andern Seite geneigten Strahlen. Hier sind es die durchgehenden ausserordentlichen, deren Grenzwinkel die grösstmögliche Abweichung von der Senkrechten bestimmt; denn die ordentlichen treffen die Balsamschicht um so schiefer, je grösser die Neigung, und erfahren daher stets eine vollständige Reflexion. Der Brechungscoefficient der ausserordentlichen Strahlen ist nun aber eine veränderliche Grösse, welche nach Rudberg im Minimum 1,48635 beträgt und mit der Abweichung nach links allmählig zunimmt, bis die Richtung der krystallographischen Hauptaxe erreicht ist. Da die letztere im gegebenen Falle mit der Senkrechten einen Winkel von $63^{\circ} 44'$ bildet, so ist der jedesmalige Werth für die verschiedenen Abweichungen durch den Leitstrahl einer Ellipse bestimmt, deren grosse Axe mit der krystallographischen Hauptaxe zusammenfällt und sich zur kleinen verhält wie 1,6585 zu 1,48635. Für einen im Krystall um 45° nach links abweichenden Strahl ergibt sich hienach als Brechungscoefficient 1,5636, welcher Werth gerade hinreicht, um an der Canadabalsamschicht, die der Strahl unter $82^{\circ} 17'$ trifft, eine Totalreflexion zu veranlassen (den Brechungsindex des Balsams zu 1,549

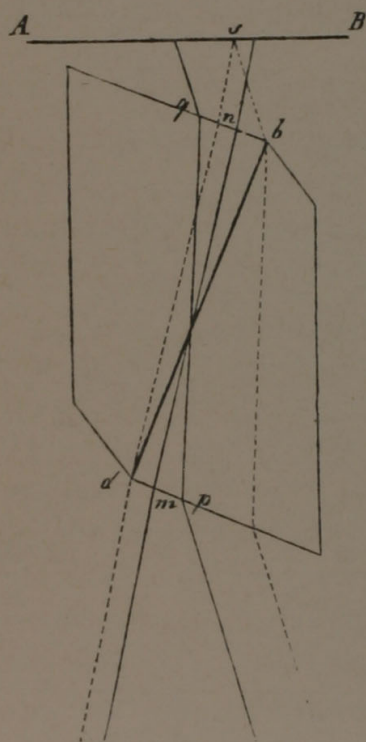


Figur 174.

genommen). Wird die Brechung an der untern Fläche des Nicol mit in Rechnung gebracht, so ergibt sich als Maximum der Neigung für die einfallenden Strahlen c. 44° . In Wirklichkeit mag diese Grösse, da der Brechungscoefficient des Canadabalsams von Wollaston und Young etwas geringer angegeben wird, noch um 2—4 Grade kleiner ausfallen.

- 287 Die Gesamtöffnung des einfallenden Lichtkegels in der Richtung von rechts nach links beträgt also nach dem Vorhergehenden $42^\circ 58' + 44^\circ$ für das eine, und $46^\circ 44' + 7^\circ$ für das andere Extrem, folglich in beiden Fällen nahezu 24° . Diese Grösse stimmt mit der an einem Nicol von Bénéche experimentell bestimmten ziemlich genau überein. — In der Richtung senkrecht zur Papierebene fallen die Neigungswinkel noch etwas grösser aus; sie werden hier einzig und allein durch die Dimensionsverhältnisse des Prismas bestimmt.

Damit ist aber noch nicht gesagt, dass ein solcher Lichtkegel dem Ge-



Figur 172.

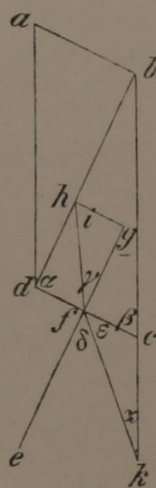
sichtsfelde des Mikroskops in seiner ganzen Ausdehnung zu Gute komme. Der in Fig. 172 genau construirte Strahlengang zeigt vielmehr, dass diess nur unter den günstigsten Verhältnissen möglich ist. Die beiden Linien *mn* und *pq* stellen zwei Grenzstrahlen dar, welche das Prisma in den oben bestimmten Richtungen durchsetzen und an den Grenzflächen die angedeutete Ablenkung erfahren. Zieht man nun durch die Endpunkte *b* und *d* der Canadabalsamschicht zwei Linien parallel zu diesen Grenzstrahlen und verlängert dieselben nach oben bis zu ihrem Durchschnittspunkt *s*, so ist einleuchtend, dass wenn *s* im Gesichtsfelde *AB* liegt, diess der einzige Punkt ist, welcher durch den vollen Lichtkegel beleuchtet wird. Zu allen übrigen Punkten gelangt nur ein Theil dieses Lichtkegels und zwar ein um so kleinerer, je grösser der Abstand von *s*. Man begreift auch, dass wenn die Einstellungsebene des Mikroskops in einem

etwas höhern Niveau liegt, was gewöhnlich der Fall ist, sich die Oeffnung des Kegels auch für die Mitte des Gesichtsfeldes um so mehr reduciren muss, je weiter dieselbe von *AB* absteht.

Für die Praxis ergibt sich hieraus die Regel, das Nicol'sche Prisma der Einstellungsebene so viel als möglich zu nähern, da ein Fernerrücken wie eine Verkleinerung des Lichtkegels wirkt. Da jedoch der Optiker auch darauf zu sehen hat, dass der zum Einschalten der Gypsplättchen erforderliche Raum übrig bleibt, so darf er eine gewisse Grenze der Annäherung nicht überschreiten. Der optisch wirksame Theil des Lichtkegels reducirt

sich in Folge dessen auf c. 20° Oeffnung. Ein Polarisator von Bénéche ergab für das Niveau des Objecttisches in der Mitte des Gesichtsfeldes $24\frac{1}{2}^\circ$. Wo eine solche Oeffnung nicht ausreicht, muss die Convergenz der Strahlen durch eine über dem Nicol angebrachte Beleuchtungslinse gesteigert werden.

Soll der Polarisator auch die mehr peripherischen Punkte des Gesichtsfeldes hinreichend erhellen, so darf der Durchmesser der Endfläche nicht zu klein sein. Da nun die Länge eines Nicol fast dreimal so gross ist, als dieser Durchmesser, so kommt ein solches Prisma sehr theuer zu stehen. *) Foucault suchte diesem Uebelstande abzuhelpen, indem er den Canadabalsam durch eine Luftschicht ersetzte. Dadurch wird für den ordentlichen Strahl der Grenzwinkel der totalen Reflexion* auf $37^\circ 5'$ reducirt, und die Brechungsverhältnisse stellen sich am günstigsten heraus, wenn α in Fig. 173 = 54° und $\beta = 70^\circ 52'$, welche letztere Grösse der natürlichen Neigung entspricht. Setzt man $cd = 4$, so erhält man durch trigonometrische Berechnung $bc = 0,945$. Das Foucault'sche Prisma ist hienach verhältnissmässig über dreimal so kurz als das Nicol. Dasselbe lässt sich daher aus kleinern Kalkspathkrystallen herstellen und kommt in Folge dessen billiger zu stehen. Es leidet dagegen an dem Uebelstand einer sehr kleinen Oeffnung, indem die grösstmögliche Abweichung von der Senkrechten nur ungefähr 4° — statt 42° wie beim Nicol — beträgt. Ohne Condensor wäre daher ein solches Prisma für das Mikroskop kaum zu gebrauchen.



Figur 173.

In neuerer Zeit haben Hartnack und Prazmowski **) eine Construction erfunden, durch welche nicht bloss das Prisma verkürzt, sondern gleichzeitig auch der Oeffnungswinkel vergrössert wird. Die wesentlichen Momente dieser Construction sind folgende: 1) Die Schnittfläche, welche die beiden Hälften trennt, steht senkrecht zur Krystallaxe. 2) Ein- und Austrittsfläche sind rechtwinklig zur Axe des Mikroskops angeschliffen. 3) Als Verbindungsmittel der beiden Hälften dient Leinöl oder Copaivabalsam, deren Brechungscoefficienten beziehlich zu 1,485 und 1,507 angesetzt sind. 4) Der Winkel der Schnittebene, in welcher die beiden Hälften sich berühren, mit der Eintritts- oder Austrittsfläche berechnet sich alsdann für Leinöl auf $73,5^\circ$, für Copaivabalsam auf $76,5^\circ$, und für den Oeffnungswinkel

*) Eine verbesserte und etwas wohlfeilere Construction des Nicol'schen Prismas will Hasert (Pogg. Annal. Bd. 443, pag. 488) dadurch erzielt haben, dass er statt des Canadabalsams ein Mittel wählt, dessen Brechungsindex demjenigen des ausserordentlichen Strahls im Kalkspath gleich ist. Er giebt an, dass der Schnittwinkel dadurch von 90° auf 84° reducirt werde, was natürlich einer entsprechenden Verkürzung des Prismas bei gleicher Grundfläche gleich kommt. Auch soll (was wir übrigens nicht begreifen) der Saum der Polarisationszone weder blau noch roth erscheinen, sondern nur eine schwache secundäre Färbung zeigen, etwa wie ein gut corrigirtes Objectiv.

**) L'Institut, Jahrg. 1866, p. 28 u. 29.

erhält man $= 35^0$. Die Länge des Prismas reducirt sich hiebei auf 34, resp. 37^{mm}.

- 289 Neben den Kalkspathprismen wurden von jeher auch Turmaline häufig zu Polarisationsuntersuchungen benutzt. Der Turmalin hat bekanntlich die Eigenschaft, in Platten von c. 4^{mm} Dicke, wenn sie der Axe parallel geschnitten sind, das ordentliche Bild zu absorbiren und nur die ausserordentlich gebrochenen Strahlen durchzulassen. Diese Eigenschaft lässt sich namentlich bei Turmalinen, welche roth bis rothbraun oder grün gefärbt sind, leicht nutzbar machen, indem die Krystalle nicht nur hinreichend durchsichtig, sondern auch leicht so gross zu bekommen sind, dass man Platten von c. 5^{mm} im Durchmesser und darüber herauschneiden kann. Allein da solche Platten nie die reinen Polarisationsfarben liefern, indem diese durch die eigene Farbe des Turmalins modificirt werden, so sind sie als Polarisatoren, so viel wir wissen, nie in Gebrauch gekommen. Dagegen werden sie hie und da als Zerleger benutzt.

Der nämliche Missstand macht sich auch bei der Verwendung der in neuerer Zeit von Haidinger empfohlenen Herapathitkrystalle fühlbar. Der Herapathit polarisirt zwar das Licht schon in Plättchen von $\frac{1}{20}$ ^{mm} Dicke sehr vollständig, stört aber ebenfalls durch seine eigene grüne Farbe. Ueberdiess sind grössere Plättchen schwer zu erhalten und daher sehr theuer.

- 290 Unter diesen Verhältnissen verdient das Nicol'sche Prisma als polarisirender Apparat unbedingt den Vorzug. Seine Oeffnung ist auch bei gewöhnlicher Construction gross genug, um für ein hinreichend ausgedehntes Gesichtsfeld nur ausserordentliche Strahlen zu liefern, und durch die Verbesserungen von Hartnack und Prazmowski ist die Leistungsfähigkeit desselben noch beträchtlich gesteigert worden.

Die Fassung des Nicol wird am besten so eingerichtet, dass sie entweder von oben oder nach Art einer Cylinderblendung von unten in den Objecttisch eingeschoben werden kann. Die Blendung soll möglichst nahe über der Endfläche des Prismas angebracht sein und nöthigenfalls durch einen Condensor ersetzt oder mit demselben verbunden werden können, um die Convergenz der Strahlen zu steigern. Achromatische Condensatoren sind hier natürlich eben so überflüssig, als bei der Beleuchtung mit gewöhnlichem Licht; eine planconvexe Linse von hinreichendem Durchmesser thut ganz dieselben Dienste.

- 291 Was die Stellung des Nicol zur Lichtquelle betrifft, so empfiehlt Mohl^{*)}, den Querdurchmesser der rhombischen Endfläche senkrecht zur Drehungsaxe des Beleuchtungsspiegels einzustellen, um dadurch auch das durch die Reflexion an der Spiegelfläche theilweise polarisirte Licht nutzbar zu machen. Valentin^{**)} wendet hiegegen ein, dass die Verluste, welche der Beleuch-

^{*)} Pogg. Ann. Bd. 408 (1859), p. 181—183.

^{**)} Die Unters. der Pflanzen- und Thiergewebe im polar. Licht, p. 404.

tungsspiegel durch theilweise Polarisation verursache, mit dem Stand der Sonne sich ändern, weil ja das vom Himmel einfallende Licht, wie Brewster gezeigt habe, bereits theilweise polarisirt sei und zwar in einer Ebene, die durch die gesehene Himmelsstelle, die Sonne und das Auge geht, oder in einer darauf senkrechten Ebene, die das Auge und die Himmelsstelle durchschneidet. Er folgert hieraus, dass sich eine allgemeine Regel über die günstigste Orientirung des Nicol nicht geben lasse.

Unseres Erachtens ist dieser Einwand Valentin's unbegründet. Denn die Verluste, welche das vom Himmel einfallende Licht durch den Beleuchtungsspiegel erfährt, sind von denjenigen, welche das reflectirte Licht beim Durchgang durch den Nicol erleidet, durchaus unabhängig. Erstere sind für den Beobachter durch die Lage des Arbeitszimmers und die dadurch bedingte Stellung des Spiegels in jedem Zeitmoment bestimmt. Sie mögen übrigens gross oder klein sein, der polarisirte Theil des reflectirten Lichtes ist unter allen Umständen in der Reflexionsebene polarisirt und wird daher vom Nicol ungeschwächt durchgelassen oder vollständig absorbirt, je nachdem die Polarisationsebene des ausserordentlichen Strahls mit der Reflexionsebene des Spiegels zusammenfällt oder darauf senkrecht steht. Die Stellung des Nicol ist also maassbestimmend für den polarisirten Theil des einfallenden Lichtes, indess der nicht polarisirte Theil selbstverständlich in jeder Stellung zur Hälfte durchgelassen wird.

Theoretisch betrachtet ist demnach die von Mohl gegebene Vorschrift begründet. Was dagegen ihren practischen Werth betrifft, so möchten wir denselben nicht gerade hoch anschlagen, weil die Differenzen der Lichtstärke, die man beim Drehen des Polarisators beobachtet, doch immer so gering sind, dass man sie ohne irgend erheblichen Nachtheil vernachlässigen darf. Von grösserem Belang ist jedenfalls die Spiegelung der schiefen Endfläche, insofern nämlich das von oben und von der Seite einfallende Licht nicht vollständig abgehalten wird. Um dieselbe zu vermeiden, thut man gut, die schiefe Endfläche von der Lichtseite ab- und dem Zimmer zuzuwenden.

2. Der Analysator.

Von den mancherlei Modificationen, welche hier denkbar sind, wollen wir zunächst die verschiedenen Stellungen zu den brechenden Flächen des Mikroskops in Betracht ziehen. Theoretisch ist es natürlich vollkommen gleichgültig, an welcher Stelle über dem Object die Zerlegung stattfindet; es ist blos nothwendig, dass sie sich auf alle zum Auge gelangenden Strahlen erstrecke. Der Analysator kann also ebenso gut über dem Ocular als über dem Objectiv, er kann auch an einer beliebigen Stelle in der Mikroskopröhre angebracht sein, und wenn sein Oeffnungswinkel gross genug ist, sogar zwischen Object und Objectiv. Die Frage ist nur, welche practischen Vor- und Nachtheile diese verschiedenen Stellungen mit sich bringen.

Befindet sich der analysirende Nicol nahe über dem Objectivsystem, wie bei manchen Oberhäuser'schen Mikroskopen, so ist es nach Brücke*) nur durch starkes Abblenden möglich, bei rechtwinkliger Kreuzung der Nicols ein vollständig dunkles Gesichtsfeld herzustellen. Man verliert also dieser Angabe zufolge an Lichtstärke, was man an Vollständigkeit der Polarisation gewinnt. Ueberdiess lässt sich erwarten, dass das Objectivbild durch Einschaltung eines so massenhaften Körpers an Schärfe etwas verlieren muss und natürlich um so mehr, je unvollkommener dessen Flächen geschliffen sind. Andererseits wird man mit H. v. Mohl**) einen Vortheil darin finden, dass man durch diese Stellung ein grösseres Gesichtsfeld erzielt, als durch jede andere, und dass man dasselbe überdiess bequem überblicken kann.

Valentin***) sucht die unvollständige Verdunkelung des Gesichtsfeldes durch die Divergenz der Strahlen nach dem Durchgange durch das Objectiv zu erklären. Sobald diese Divergenz, heisst es an der citirten Stelle, den Oeffnungswinkel des Nicol übertrifft, so gehen neben den ausserordentlichen auch ordentliche Strahlen durch, die entgegengesetzt polarisirt sind und folglich bei gekreuzten Nicols ein helles Gesichtsfeld geben. Das ist natürlich vollkommen richtig, allein da der Grenzwinkel der gänzlichen Zurückwerfung c. 42° oder nach Valentin sogar $44-48^{\circ}$ für die Axe des Nicol beträgt, so ist die Annahme einer so bedeutenden Divergenz durchaus ungerechtfertigt. Die bilderzeugenden Lichtkegel, welche aus dem Objectiv hervortreten, stehen mit ihrer Basis auf der zweiten Hauptebene desselben und füllen je nach der Vergrösserung eine Oeffnung von c. $3-5^{\text{mm}}$ aus. Das Maximum ihrer Neigung ist durch die Grösse der Blendung im Oculareinsatz bestimmt und beträgt bei den Mikroskopen, die wir kennen, nicht über 4° . Rechnet man hiezu die halbe Oeffnung der einzelnen Lichtkegel, die man auf c. 4° veranschlagen kann, so ergiebt sich als grösstmögliche Neigung der Randstrahlen gegen die Mikroskopaxe c. 5° . Von einem Durchgehen der ordentlichen Strahlen kann also hienach nicht die Rede sein.

Die Voraussetzung einer zu grossen Divergenz der austretenden Lichtbündel würde übrigens auch für den Fall, dass sie vollkommen begründet wäre, zur Erklärung der fraglichen Erscheinung nicht ausreichen. Denn da jeder Lichtkegel nach einem bestimmten Punkte im Bilde zielt, so müsste der mittlere Theil der Bildfläche, soweit er von Strahlen mit weniger als 42° Neigung entworfen wird, bei gekreuzten Nicols doch vollkommen dunkel erscheinen. Erst am Rande würde eine nach aussen heller werdende Dämmerung bemerkbar, und dieser Randtheil könnte durch eine entsprechende Verkleinerung des Gesichtsfeldes leicht abgeschnitten werden.

*) Denkschr. d. Wiener Akad. Bd. XV, 1858, S. 69.

**) Pogg. Ann. CVIII, 1859, S. 181.

***) A. a. O. S. 97.

Die weitem Folgerungen, welche Valentin aus dieser eingebil- 293
 Divergenz der Lichtkegel zieht, bedürfen nach dem Vorhergehenden keiner
 Widerlegung. Es ist einleuchtend, dass die Stärke des Objectivsystems,
 sowie die Grösse der Blendung am Beleuchtungsapparat, unter den im
 Mikroskop gegebenen Verhältnissen auf die Neigung der ausfahrenden
 Strahlen so gut wie keinen Einfluss üben, sondern bloss die Helligkeit des
 Gesichtsfeldes verändern. Ebenso wenig kann die Länge der Mikroskop-
 röhre hier in Betracht kommen, da die dadurch bedingten Unterschiede
 verschwindend klein ausfallen. — Man begreift ferner, dass die Divergenz
 der optisch wirksamen Strahlen zwischen Objectiv und Collectiv überall
 dieselbe sein muss, da ja die Fortpflanzung eine geradlinige ist; dass jedoch
 der Querschnitt des lichterfüllten Raumes nach oben allmählich zunimmt
 und zuletzt nahezu den Durchmesser des Collectivs erreicht. Daraus folgt
 aber, dass es vollkommen gleichgültig ist, an welcher Stelle der Mikroskop-
 röhre der Analysator eingeschaltet sei, vorausgesetzt, dass die an ihm an-
 gebrachte Blendung immer dieselbe relative Grösse besitze, d. h. zu dem
 eben erwähnten Querschnitt der gesamten Strahlenmasse in demselben
 Verhältniss stehe. Das Anschrauben des Nicol an das untere Ende des
 Oculars, wie es von Harting empfohlen wurde, kann daher unmöglich
 Vorthelle gewähren, die sich nicht auch bei tieferer Stellung erzielen
 liessen; es ist dagegen mit dem practischen Nachtheil verbunden, dass das
 Prisma in jenem höhern Niveau beträchtlich grösser sein muss, um eine
 äquivalente Wirkung hervorzubringen.

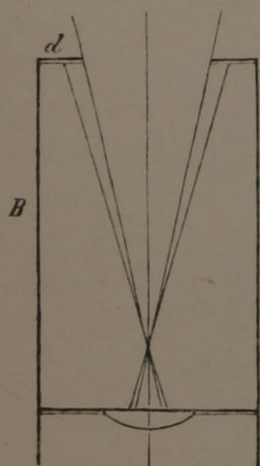
Wir können nach unsern Erfahrungen das Einschalten des Analysators 294
 zwischen die brechenden Flächen des Mikroskops aus dem einfachen Grunde
 nicht empfehlen, weil dadurch die vorhergehende Durchmusterung des
 Gesichtsfeldes und die genaue Beobachtung bestimmter Objecte erschwert
 wird. Es kann nämlich bei Untersuchungen im polarisirten Licht von
 Wichtigkeit sein und ist jedenfalls immer sehr bequem, das Präparat vor-
 erst bei heller Beleuchtung und grösstmöglicher Schärfe des Bildes, also
 ohne Zerleger, untersuchen zu können und diesen letztern erst nachträglich
 auf den zu prüfenden Gegenstand, nachdem man ihn in die Mitte des Ge-
 sichtsfeldes gebracht hat, wirken zu lassen. Um diesen Anforderungen zu
 genügen, kennen wir kein besseres Mittel als das schon von Talbot*)
 empfohlene: den obern Nicol über dem Ocular anzubringen. — In Be-
 treff der Vollständigkeit der Polarisation haben wir dagegen nicht gefun-
 den, dass ein in der Mikroskopröhre angebrachter Analysator bei gekreuzter
 Stellung in merklichem Grade Licht durchlasse; das Gesichtsfeld war viel-
 mehr so vollständig verdunkelt, dass wir mit Rücksicht hierauf keiner an-
 dern Lage den Vorzug geben würden.

Die Stellung des analysirenden Nicol über dem Ocular setzt übrigens 295

*) Pogg. Ann. XXXV, 1835, S. 330.

bei den meisten Mikroskopen eine beträchtliche Grösse desselben voraus, sofern das Gesichtsfeld nicht allzu klein ausfallen soll. Ueberdiess kommt hier die Lage des Augenpunctes und die damit zusammenhängende Convergenz der Lichtbündel in Betracht. Es verlohnt sich der Mühe, den Einfluss dieser beiden Factoren genauer ins Auge zu fassen.

Halten wir uns zunächst an einen bestimmten Fall. Am Ocular Nr. 2



Figur 174.

von Bénèche beträgt der Durchmesser des optisch wirksamen Theils der Ocularlinse c. $3,5^{\text{mm}}$. Die peripherischen Lichtkegel, welche den Randpuncten des Gesichtsfeldes entsprechen, sind etwa 46° gegen die optische Axe geneigt, der Augenpunct liegt c. 6^{mm} über dem Ocular. Veranschaulichen wir uns diese Verhältnisse durch eine genaue Construction (Fig. 174, wobei jedoch die Lichtbündel durch einfache Linien dargestellt sind) und denken wir uns ein Nicol mit seiner Fassung *B* aufgesetzt, so ergeben sich — da die Verschiebung der Strahlen parallel mit sich selbst vernachlässigt werden darf — unmittelbar folgende Schlüsse:

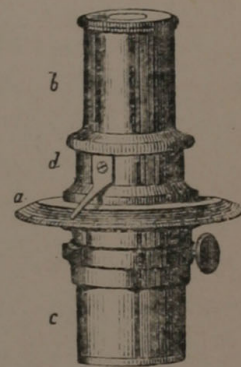
1) Die peripherischen Strahlenbündel müssen durch die Blendung bei *d* bis zu einer Neigung von c. 42° (dem Grenzwinkel der gänzlichen Zurückwerfung für die ordentlichen Strahlen) abgehalten werden. Das Gesichtsfeld wird also hierdurch eingeschränkt.

2) Da die Blendung beträchtlich über dem Niveau des Augenpunctes liegt, so übersieht das Auge mit einem Male nur ein kleines Stück des Gesichtsfeldes und muss über der Blendung hin und her bewegt werden, um nach einander auch die übrigen Theile wahrzunehmen. Der Uebelstand ist natürlich um so grösser, je höher die Fassung des Nicol im Verhältniss zum Abstand des Augenpunctes. — Man könnte indess das Ocular auch so construiren, dass der Augenpunct in das Niveau der Blendung fiele, womit zugleich eine geringere Neigung der Strahlen zur Axe verbunden wäre. Das Auge würde alsdann von *d* aus das ganze Gesichtsfeld des Mikroskops mit einem Male überblicken, und das Abhalten der peripherischen Strahlen wäre überflüssig. Nur müsste natürlich der Durchmesser des Nicol dem wirksamen Theil der Ocularlinse entsprechen.

296 Will man sich mit einem kleinen Gesichtsfelde, wie dasselbe von Bénèche's Ocular Nr. 2 unter den in Fig. 174 dargestellten Verhältnissen geboten wird, begnügen, so kann das Nicol auch durch ein einfaches Kalkspathprisma ersetzt werden. Das Bild, welches die ordentlichen Strahlen liefern, erscheint nämlich so weit seitlich verschoben, dass ein in der Axe befindliches Auge nur das der ausserordentlich gebrochenen Strahlen wahrnimmt. Ein solches Prisma ist sogar in manchen Fällen dem Nicol'schen vorzuziehen, da es die Vergleichung des complementären ordentlichen Bildes mit dem ausserordentlichen ermöglicht, wodurch die richtige Deutung

und Bezeichnung der Polarisationsfarben oft wesentlich erleichtert wird. Zur bequemern Beobachtung des ordentlichen Bildes wird die Fassung zweckmässig so eingerichtet, dass sie mindestens eine kleine seitliche Verschiebung des Prismas gestattet, gross genug, um dem Auge nach Belieben das eine oder das andere Bild in der Richtung der Mikroskopaxe vorführen zu können. Dass sie ausserdem noch den Anforderungen zu genügen hat, die man überhaupt an den Analysator stellen kann, ist selbstverständlich.

Am Hartnack'schen Analysator neuer Construction (Fig. 175), dessen Fassung mit dem Ocular *bc* verbunden ist, befindet sich ein graduirter Kreis *a*, in dem die Röhre mit den Linsen und dem analysirenden Prisma gedreht werden kann. Der Zeiger *d*, welcher mit rotirt, giebt die Grösse der stattgefundenen Drehung an. Diesen Hartnack'schen Apparat, noch »verbessert, mit Nonius und Fadenkreuz«, führen auch Leitz und Seibert und Krafft; auch Merz, Wasserlein, Verick haben den Theilkreis adoptirt. — Dass solche Einrichtungen für gewisse Beobachtungen (z. B. über Circularpolarisation) sehr bequem sind, unterliegt keinem Zweifel; allein in den meisten Fällen ist es jedenfalls wichtiger, das Object bei gekreuzten Nicols und unbeweglichen Gypsblättchen mittelst Drehscheibe in die verschiedenen Stellungen zu den Polarisationsebenen der Nicols zu bringen und hiebei die Winkel bestimmen zu können.



Figur 175.

3. Der Apparat zum Drehen der Objecte.

Die Beobachtung der Veränderungen, welche die Polarisationsfarben 298 beim Drehen der Objecte erfahren, ist bei Untersuchungen im polarisirten Licht so wichtig, dass die gewöhnlichen Manipulationen, durch welche man sonst solche Drehungen auszuführen pflegt, dem Bedürfnisse nicht mehr genügen und daher höchstens als Nothbehelf dienen können. Zur vollständigen Ausstattung eines Polarisationsmikroskops gehört durchaus eine Vorrichtung, welche nicht nur ein langsames Drehen um eine senkrechte sowohl als eine horizontale Axe ermöglicht, sondern auch den Winkel abzulesen gestattet, um welchen man gedreht hat.

Das Drehen um eine senkrechte Axe lässt sich am einfachsten mittelst einer zum Centriren eingerichteten Welcker'schen Drehscheibe bewerkstelligen, welche zum Behuf der Winkelbestimmungen mit einer Gradeintheilung versehen ist. Drehbare Objecttische nach gewöhnlicher Construction sind schon weniger bequem, weil die gleichzeitige Drehung der Mikroskopröhre auch die Stellung des Analysators verändert, wofern der letztere nicht mit der Hand oder durch eine besondere Vorrichtung

festgehalten wird. Aber auch abgesehen hievon kann die Drehung der Objectivlinsen, wenn es auf geringe Farbenunterschiede ankommt, zu Täuschungen Veranlassung geben, da hiebei auch nach Wegnahme des Objectes nicht selten ein mehr oder minder deutlicher Wechsel, von der Anisotropie des Glases herrührend, bemerkbar ist. Man thut daher unter allen Umständen am besten, die Drehung auf das Object allein zu beschränken.

Die Bestimmung des Azimuths, in welchem man einen Gegenstand mit Rücksicht auf die Polarisations Ebenen der Nicols eingestellt hat, ist übrigens auch mit Hülfe einer Gradeintheilung keineswegs mit der Genauigkeit möglich, die man sonst bei Winkelmessungen erreicht. Zwar lässt sich ein beliebiger Durchmesser der Drehscheibe ziemlich genau in die Diagonalebene des Polarisators bringen, da dieselbe durch die Kanten des Prismas in ihrer Lage bestimmt ist, und ebenso unterliegt auch die Orientirung des Analysators keiner besondern Schwierigkeit. Die rechtwinklige Kreuzung der Nicols ist bis auf einen Grad genau schon durch die grösstmögliche Dunkelheit im Gesichtsfelde bestimmt. Ganz anders verhält es sich aber, wenn das Azimuth eines mikroskopischen Objects, wie z. B. einer Krystallkante, mit Hülfe der Gradeintheilung auf der Drehscheibe gemessen werden soll. Hier handelt es sich nämlich darum, den Parallelismus von Linien herzustellen, wovon die eine nur mit dem rechten, die andere mit dem linken Auge gleichzeitig gesehen werden kann, — und in diesem Umstande liegt für den Unkundigen eine sehr erhebliche Fehlerquelle. Legt man z. B., während das rechte Auge ins Mikroskop sieht, einen Bleistift oder ein Lineal so auf die Drehscheibe, dass es beim Doppelsehen mit dem im Gesichtsfelde liegenden Gegenstand genau parallel verläuft oder vollends zusammenfällt, und sieht hiërauf mit dem linken Auge ins Mikroskop, so bilden die vermeintlich parallelen Richtungen bei abermaligem Doppelsehen einen Winkel von 6—10 Grad. Es liegt auf der Hand, dass man unter solchen Umständen seinen eigenen Augen nicht mehr trauen darf.

Die Ursache dieser auffallenden Erscheinung, die man übrigens in ähnlicher Weise auch beim stereoskopischen Sehen wahrnimmt, ist physiologischer Natur, und es ist nicht unsere Aufgabe, sie hier darzulegen; *) wir haben nur zu constatiren, dass eine solche Täuschung — sie mag nun etwas grösser oder geringer ausfallen — unvermeidlich ist, und hieran die für uns allein wichtige Frage zu knüpfen, wie sich unter diesen Verhältnissen das wahre Azimuth eines mikroskopischen Objects am sichersten ermitteln lasse.

In den meisten Fällen wird man der Wahrheit ziemlich nahe kommen,

*) Die hier angeregten Fragen wurden in neuerer Zeit mehrfach erörtert. Man lese z. B. die einschlägigen Arbeiten von Helmholtz im »Archiv für Ophthalmologie« 4863 u. 1864, und die dort citirten ältern Abhandlungen.

wenn man die Halbierungslinie des oben erwähnten Winkels von $6-10^\circ$ als maassbestimmend ansieht. Bei normalen (nicht schielenden) Augen, welche beim Sehen in der Richtung der Mikroskopaxe annähernd dieselbe Raddrehung erfahren, kann der hierbei mögliche Fehler jedenfalls nur ganz unbedeutend sein. Wo indess die grösstmögliche Genauigkeit erreicht werden soll, ist dieses Verfahren nicht mehr genügend oder doch wenigstens einer Controle bedürftig. Man kann alsdann zu folgenden Mitteln greifen:

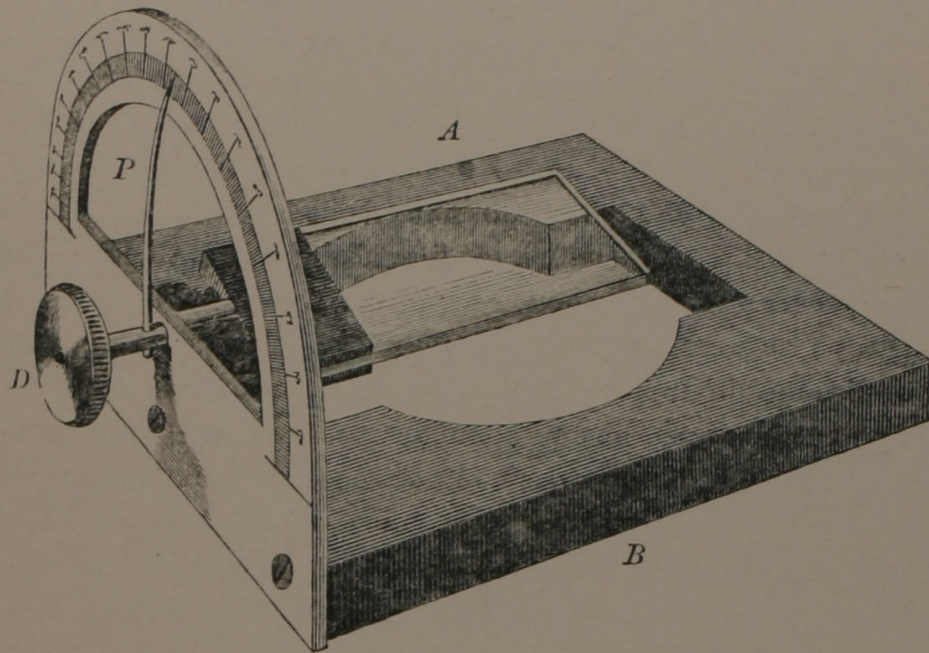
1) Ist das Ocular mit einer Oeffnung zum Einlegen des Mikrometers versehen, so wird statt des letztern ein kleines Lineal, ein Glasstreifen oder ein anderer geeigneter Gegenstand eingeschoben und mit dem Rand des zu untersuchenden Objects zur Deckung gebracht. Der aussen vorstehende Theil giebt alsdann die fragliche Richtung genau an, und es ist leicht, einen auf die Gradeintheilung zu legenden Zeiger damit parallel zu stellen.

2) Man stellt die Mikrometertheilung oder den Rand eines auf die Blendung gelegten Deckgläschens zu der in Frage stehenden Richtung im Gesichtsfelde parallel, entfernt nachher das Object und legt dafür eine hinreichend lange Glasplatte unter, deren im Gesichtsfelde als dunkle Linie erscheinenden Rand man in die nämliche, durch das Mikrometer bezeichnete Lage bringt. Die Verlängerung dieses Randes giebt alsdann auf der Gradeintheilung das gewünschte Azimuth. — Wird der Analysator auf die Mikroskopröhre aufgesetzt, so ist es vortheilhaft, ihn so anzubringen, dass seine Stellung beim Drehen des Oculars unverändert bleibt.

Das Drehen um eine wagrechte Axe geschieht ebenfalls am **299** besten mit Hülfe einer besondern Vorrichtung, welche zum Auflegen auf den Objecttisch oder zum Anschrauben an denselben eingerichtet ist. Die Construction derselben lässt sich natürlich in sehr verschiedener Weise denken; es mag jedoch genügen, wenn wir als einziges Beispiel das in Fig. 176 dargestellte Modell erwähnen, das wir nach unsern Erfahrungen als practisch und vollkommen ausreichend empfehlen dürfen.

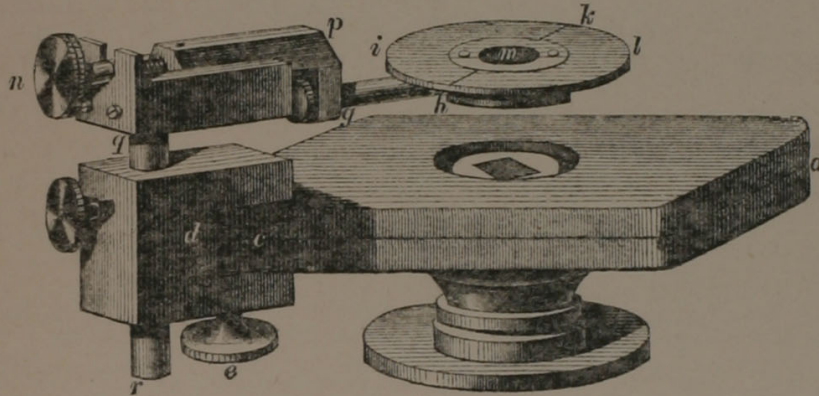
Auf der messingenen schwarz lackirten Platte *AB*, welche in der Mitte durchbrochen ist, steht lothrecht ein mit Gradeintheilung versehener Halbkreis, in dessen Krümmungscentrum der Halter *D* so befestigt ist, dass er mit schwacher Reibung sich um eine senkrecht zur Kreisebene gestellte Axe drehen lässt. Dieser Halter endigt in zwei federnde Messinglamellen, zwischen welche die als Objectträger dienenden Glasplatten eingeklemmt werden. Letztere werden am besten so angebracht, dass ein auf dem Objectträger befindlicher Gegenstand in die Verlängerung der Drehungsaxe zu liegen kommt und folglich beim Drehen keine oder nur sehr geringe seitliche Verschiebungen erfährt. Der Zeiger *P*, welcher mit dem Halter in Verbindung steht, bewegt sich während der Drehung auf der Gradeintheilung und giebt den Drehungswinkel an. — Für gewisse Zwecke ist es rathsam, den Apparat so einzurichten, dass die Drehung des Objects unter

Wasser oder auch in einer andern Flüssigkeit vollzogen werden kann. Diess ist z. B. bei dem Ebner'schen Trogapparate *) der Fall, der im Uebrigen nach denselben Principien construirt ist, wie der unsrige.



Figur 176.

Der Objectträger mit doppelter Drehung nach Valentin (Fig. 177) entspricht den Bedürfnissen nicht vollständig, weil er keine



Figur 177.

Winkelbestimmungen gestattet; doch mag er immerhin in manchen Fällen Verwendung finden. Derselbe ist zum Anschrauben an den Objecttisch eingerichtet und mit Stellschrauben zum Centriren

versehen. Die Scheibe *hikl* kann in ihrer eigenen Ebene und überdiess um die wagrechte Axe *gh* gedreht werden.

*) Vgl. Ebner, Untersuchungen über das Verhalten des Knochengewebes im polarisirten Lichte. Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wiss. in Wien, III. Abth. Jahrg. 1874.

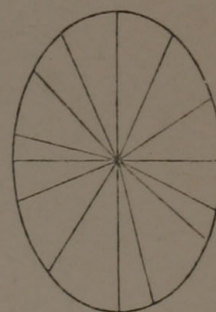
II.

Das Verhalten anisotroper krystallähnlicher Körper,
einzeln beobachtet.

Wir wenden uns jetzt zur Erörterung der Erscheinungen, welche 300 anisotrope krystallähnliche Körper im polarisirten Licht hervorrufen. Nicht dass wir uns hier die Aufgabe gestellt hätten, physikalische Lehren vorzutragen, die man in jedem Handbuch der Physik mitgetheilt findet, wir setzen vielmehr voraus, dass der Leser mit den Grundlehren der Doppelbrechung und der Polarisation vertraut sei; allein es schien uns nichtsdestoweniger rathsam, die Beziehungen und Gesetze, die bei Anwendung der mikroskopischen Beobachtungsmethode von spezieller Bedeutung sind, zunächst für krystallinische Medien zu entwickeln, um dadurch das schwierigere Studium der organisirten Substanzen vorzubereiten. Manche Begriffe und Benennungen, welche wir in der Folge doch erst festzustellen hätten, lassen sich an Krystallen leichter und unmittelbarer aus den Erscheinungen ableiten, als diess bei den complicirtern geschichteten Gebilden der Thier- und Pflanzengewebe der Fall sein würde. Jene bilden somit den natürlichen Ausgangspunct für die Lösung unserer Aufgabe.

1. Das Elasticitätsellipsoid.

Das optische Verhalten doppelbrechender Krystalle findet bekanntlich 301 in der Eigenschaft derselben, die Lichtwellen nach den verschiedenen Richtungen des Raumes mit ungleicher Geschwindigkeit fortzupflanzen, seine Erklärung. Die Fortpflanzungsfähigkeit erreicht nämlich in einer bestimmten Richtung ihr Maximum und in einer andern dazu rechtwinkligen ihr Minimum; dazwischen liegen die gesetzmässigen Uebergänge. Denkt man sich von einem beliebigen Punct im Innern der Substanz aus Linien gezogen (Fig. 478), welche das relative Leistungsvermögen in den entsprechenden Richtungen darstellen, so liegen die Endpunkte dieser Linien in einer Fläche von ellipsoidischer Gestalt, in welcher der gedachte Punct den Mittelpunkt bildet. Es ist diess die sogenannte Elasticitätsfläche oder das Elasticitätsellipsoid.*) Die geome-



Figur 478.

*) Streng genommen ist die Elasticitätsfläche, wie sie Fresnel auf analytischem Wege bestimmte, kein Ellipsoid, sondern eine Fläche der vierten Ordnung, deren Gleichung, auf rechtwinklige Axen bezogen, folgende ist:

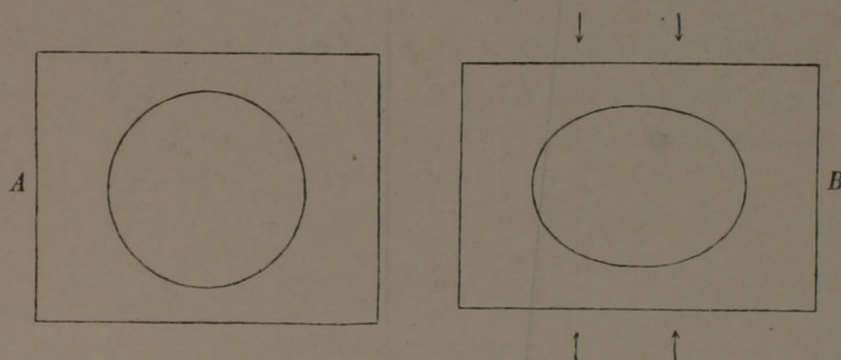
$$(z^2 + x^2 + y^2)^2 = a^2 x^2 + b^2 y^2 + c^2 z^2 .$$

Die Diametralschnitte durch diese Fläche sind aber annähernd Ellipsen und in zwei be-

trischen Axen dieses Ellipsoids, die den Namen der Elasticitätsaxen führen, fallen mit den Krystallaxen zusammen, wo diese rechtwinklig sind, weichen dagegen in den schiefwinkligen Systemen mehr oder weniger davon ab. Bei monoklinischen Krystallformen findet die Abweichung jedoch nur in der Ebene statt, welche dieselben in zwei symmetrische Hälften theilt.

In Krystallen mit einer Hauptaxe und gleichen Nebenaxen, wozu die tetragonalen, hexagonalen und rhomboedrigen Formen gehören, ist das Leitungsvermögen senkrecht zur Hauptaxe nach allen Richtungen gleich, und parallel derselben am grössten oder am kleinsten; das Elasticitätsellipsoid stellt hier eine Rotationsfläche dar, deren Drehungsaxe in die krystallographische Hauptaxe fällt. Dagegen sind in Krystallen mit drei ungleichen Axen, wie sie das rhombische, monoklinische und triklinische System aufweist, auch die geometrischen Axen der Elasticitätsfläche ungleich; die letztere ist hienach ein Ellipsoid mit einer grössten, einer mittlern und einer kleinsten Axe.

302 Um diese Eigenschaften mit dem innern Bau in einen gewissen Zusammenhang zu bringen, ist es gut, sich die analogen des comprimierten oder expandierten Glases ins Gedächtniss zu rufen. In einem Parallelepiped von Glas, welches mittelst einer Zange oder Presse zusammengedrückt wird, rücken bekanntlich die Massentheilchen in der Richtung der wirkenden Kraft sich gegenseitig etwas näher. Eine Kugel, welche man sich vor der Compression in das Glas hineindenkt (Fig. 179 A), plattet sich in



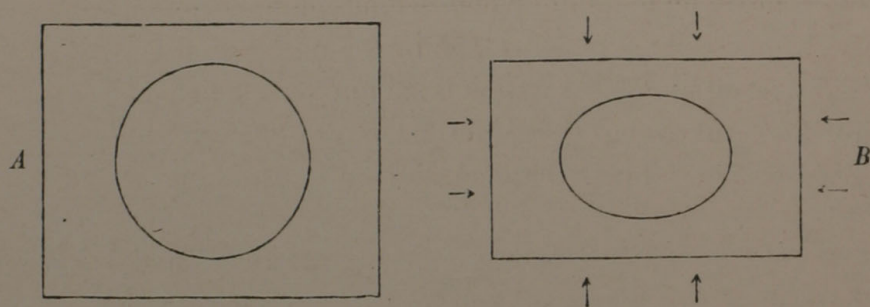
Figur 179.

Folge derselben in der angedeuteten Richtung ab (Fig. 179 B) und wird dadurch zum Rotationsellipsoid, dessen Hauptaxe jener Richtung parallel geht. Findet die Compression in zwei rechtwinklig aufeinander stehenden

stimmten Lagen, ganz wie beim Ellipsoid, Kreise. Das nämliche gilt auch von der Elasticitätsfläche des Druckes nach Neumann. In der mathematischen Optik wird deshalb statt der wahren Elasticitätsfläche das viel leichter zu behandelnde Ellipsoid den weiteren Rechnungen zu Grunde gelegt.

Für die folgenden Betrachtungen ist übrigens eine bestimmte Voraussetzung in Betreff der Form der Elasticitätsfläche gar nicht nothwendig. Es genügt zu wissen, dass die Schnittflächen derselben im Allgemeinen ovale Figuren mit zwei ungleichen Axen und in zwei besondern Fällen Kreise sind.

Richtungen statt (Fig. 180 *B* vgl. mit *A*), so behält nur der senkrecht zur Papierebene orientirte Kugeldurchmesser seine ursprüngliche Länge (streng genommen wird er durch den seitlich wirkenden Druck etwas verlängert), während die beiden andern sich um einen gleichen oder ungleichen Bruchtheil verkürzen, je nachdem die wirkenden Kräfte gleich oder ungleich sind. Gleiche Kräfte verwandeln hienach die Kugel in ein verlängertes Rotationsellipsoid, ungleiche in ein Ellipsoid mit drei ungleichen Axen.



Figur 180.

Die Formveränderungen, welche die abgebildete Kugel in Folge der Compression erfährt, lassen sich also leicht bestimmen. Da nun im comprimirtten Glase die Anziehung der Massentheilchen mit der Annäherung zunimmt und die Abstossung des Aethers ihr stets das Gleichgewicht hält, so muss angenommen werden, dass die Dichtigkeit des Aethers durch die Compression eine Veränderung im gleichen Sinne erfahre wie die Substanz. Mit der Dichtigkeit des Aethers ändert sich aber auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, und wenn wir auch unerörtert lassen, wie diese Veränderung erfolgt, so ist doch einleuchtend, dass das resultirende Ellipsoid in analoger Weise, wie die Elasticitätsfläche der Krystalle, die optischen Eigenschaften des comprimirtten Glases veranschaulicht.

Es unterliegt auch keiner Schwierigkeit, die Uebereinstimmung für die verschiedenen denkbaren Fälle experimentell nachzuweisen. Wird das Glas bloss nach einer Richtung comprimirt oder expandirt, so verhält es sich wie ein Krystall mit einer Hauptaxe, die in der Richtung der wirkenden Kraft dahingeht; die Elasticitätsfläche ist ein Rotationsellipsoid. Lässt man sodann senkrecht zur ersten eine zweite ihr ungleiche Kraft wirken, so verwandelt sich das Rotationsellipsoid in ein solches mit drei ungleichen Axen; das Glas verhält sich jetzt wie ein Krystall ohne Hauptaxe. Man kann überhaupt ganz allgemein sagen: Ein Parallelepipet von Glas kann stets so comprimirt werden, dass sein optisches Verhalten einem gegebenen ein- oder zweiaxigen, positiven oder negativen Krystalle entspricht.

Die Art und Weise, wie die Aetherdichtigkeit auf die Bewegung des Lichtes einwirkt, ist durch die eben entwickelten Beziehungen im Allgemeinen festgestellt. Allein eine bestimmte Formulirung des fraglichen Abhängigkeitsverhältnisses ist damit noch nicht gewonnen. Jene Beziehungen genügen nicht, um das Elasticitätsellipsoid in ein gegebenes Medium mit

bekannten optischen Eigenschaften, soweit sie durch Beobachtung bestimmbar sind, hineinzuconstruiren; es kann diess nur unter Voraussetzungen geschehen, welche der Theorie der Lichtbewegung entnommen und daher jedenfalls mit Thatsachen, wie sie die directe Beobachtung giebt, nicht zu verwechseln sind. Die Undulationstheorie in ihrer jetzigen Gestalt nimmt an, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes sei bloss von der Aetherbeschaffenheit in der Richtung der Schwingungen, nicht aber von derjenigen in der Richtung der Strahlen abhängig. Das Elasticitätsellipsoid wird hienach so construirt, dass die Durchmesser desselben, welche den Schwingungsrichtungen beliebiger Strahlen parallel gehen, den aus den Brechungscoefficienten berechneten Geschwindigkeiten entsprechen, womit jene Strahlen das krystallinische Medium durchsetzen. Es erscheint also beispielsweise in positiv-einaxigen Krystallen abgeplattet wie das Erdphäroid, in negativ-einaxigen dagegen eiförmig-verlängert.

Wir haben es vorgezogen, diese theoretischen Vorstellungen zu umgehen und unsere Erörterungen ohne alle und jede Theorie an das Ellipsoid des Glases, wie es durch Druck oder Zug aus der Kugel entsteht, anzuknüpfen. Den negativ-einaxigen Krystallen schreiben wir dem entsprechend ein an den Polen abgeplattetes Rotationsellipsoid zu, weil sie in Plättchen, die parallel zur optischen Axe geschliffen sind, wie eine Glasplatte wirken, welche in der Richtung jener Axe comprimirt wurde. Dagegen erhalten die positiv-einaxigen Krystalle ein in der Richtung der optischen Axe verlängertes Ellipsoid, weil sie sich optisch wie eine in gleicher Richtung expandirte Glasplatte verhalten. Die Vergleichung der doppelbrechenden Medien mit comprimirtem oder expandirtem Glas soll uns überhaupt immer das Mittel liefern, Form und Stellung des Elasticitätsellipsoids richtig zu bestimmen.

- 304 Die Benennung »Elasticitätsellipsoid« glauben wir füglich beibehalten zu dürfen, obschon wir eine genaue, algebraisch formulirbare Vorstellung von der Art, wie die Lichtbewegung durch die Radien unseres Ellipsoids bestimmt wird, hier gar nicht damit verbinden. Das Abhängigkeitsverhältniss, welches für unsere Zwecke Bedeutung hat, braucht weder in Ziffern noch durch Formeln ausgedrückt zu werden, es kann auch eben so gut ein reciprokes als ein directes sein; aber es ist selbstverständlich doch überall dasselbe. Darum verlangt denn auch die Consequenz überall dieselbe, den Erscheinungen gleich angepasste Orientirung.

2. Die Polarisationserscheinungen in ihren Beziehungen zum Elasticitätsellipsoid.

- 305 Wir gehen jetzt an die Feststellung der Beziehungen, welche zwischen dem Elasticitätsellipsoid und den Erscheinungen der Doppelbrechung und Polarisation bestehen, wobei wir jedoch die Bemerkung vorausschicken,

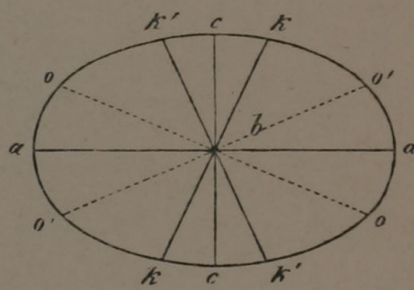
dass wir uns nur mit den Fällen befassen, welche für die mikroskopische Beobachtung von Bedeutung sind. Thatsachen, welche bloss den Physiker oder Mathematiker interessiren können, glauben wir füglich übergehen zu dürfen.

Das Elasticitätsellipsoid, das wir uns in die Substanz hineindenken wollen, sei ein solches mit drei ungleichen Axen; die grösste sei a , die mittlere b und die kleinste c . Dann sind die Schnittflächen, welche man sich in beliebiger Richtung durch das Centrum geführt denkt, im Allgemeinen Ellipsen, deren Excentricität am grössten ist, wenn sie in die Ebene der grossen und kleinen Axe fallen. In zwei Fällen jedoch — so lehrt die analytische Geometrie — werden diese Ellipsen zu Kreisen, und diese Kreisschnitte des Ellipsoids gehen stets durch die mittlere Axe oder sind ihr parallel. Die Neigung derselben zur Axe a ist durch das Verhältniss $a : b : c$ bestimmt; man hat:

$$\tan \delta = \pm \frac{c}{a} \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2 - c^2}},$$

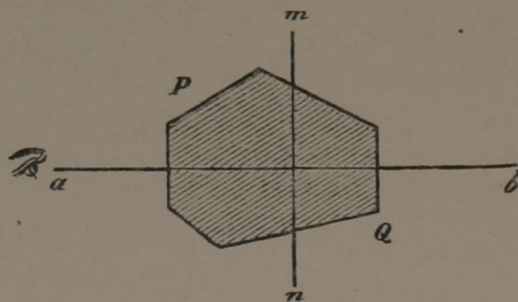
wenn nämlich δ den fraglichen Neigungswinkel bezeichnet. Die Normalen der Kreisschnitte, d. h. die Linien, welche dieselben senkrecht treffen, liegen folglich in der Ebene der grössten und kleinsten Axe; sie schneiden die erstere unter Winkeln, welche die eben erwähnte Neigung δ zu 90° ergänzen.

Suchen wir diese Verhältnisse durch eine Figur zu veranschaulichen. Es sei aa (Fig. 181) die grösste und cc die kleinste Axe; die mittlere, welche senkrecht zur Papierfläche steht, erscheint alsdann in b als Punkt. Die beiden Kreisschnitte seien kk und $k'k'$; sie stehen ebenfalls senkrecht zur Papierfläche und werden daher als Linien gesehen, welche mit den Normalen oo und $o'o'$ rechte Winkel bilden.



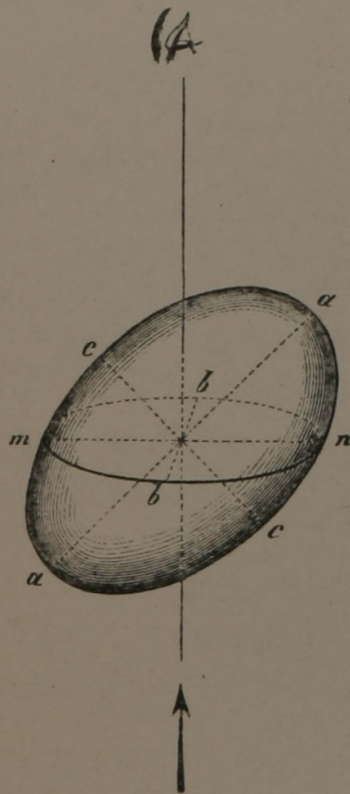
Figur 181.

Mit diesen Eigenschaften des Elasticitätsellipsoids steht nun das optische Verhalten der doppelbrechenden Substanzen in folgendem Zusammenhang. Ist PQ (Fig. 182) ein Stück einer solchen Substanz mit beliebig orientirtem Elasticitätsellipsoid, so ist die Wirkung desselben auf das parallelstrahlige Lichtbündel ab nur von den Elasticitätsverhältnissen in einer senkrecht zur Strahlenrichtung verlaufenden Ebene mn abhängig und folglich durch die Ellipse bestimmt, welche den jener Ebene parallelen Diametralschnitt des Ellipsoids darstellt. Denken wir uns also ein beliebiges



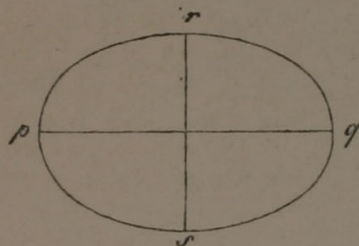
Figur 182.

Object unter dem Mikroskop in langsamer Drehung begriffen, so dass sein Elasticitätsellipsoid (Fig. 183) nach und nach alle möglichen Neigungen



Figur 183.

gegen die von unten einfallenden Lichtstrahlen annimmt, so ist der Effect, den dasselbe hervorbringt, für jede Stellung durch die Schnittfläche $mbnb$ bestimmt, welche der Ebene des Gesichtsfeldes parallel geht. Mit andern Worten: Eine planplane Platte, die man sich beliebig aus der Substanz herauschneidet und auf den Objecttisch legt, wirkt stets nach Maassgabe eines Schnittes, welcher in gleicher Richtung durch das Elasticitätsellipsoid geführt wird. Ein solcher Schnitt ersetzt also gewissermaassen das Ellipsoid; er giebt ein vollständiges Bild der unter den gegebenen Verhältnissen wirksamen Elasticitäten und kann daher als wirksame Elasticitätsellipse bezeichnet werden.



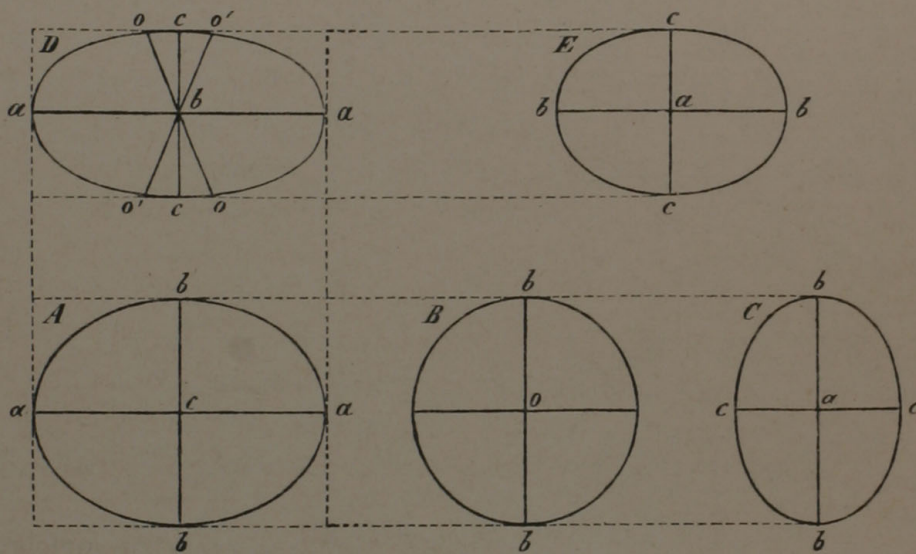
Figur 184.

Der fragliche Zusammenhang ist hiemit vom Raume auf die Ebene zurückgeführt und lässt sich hier leicht veranschaulichen. Sei pqr s (Fig. 184) die wirksame Elasticitätsellipse und pq die grössere, rs die kleinere

Axe; dann erfahren die (senkrecht zur Papierebene) einfallenden Lichtstrahlen eine Theilung in zwei Wellensysteme, welche in den Ebenen der beiden Axen polarisirt sind. Die Schwingungen des eines Systems finden also parallel pq , die des andern parallel rs statt. Die relative Grösse der Axen bedingt zugleich die Geschwindigkeiten, mit welcher die beiden Systeme das Object durchsetzen; je grösser pq im Verhältniss zu rs , desto grösser erweist sich die Differenz zwischen den beiden Fort-

- 307 pflanzungsgeschwindigkeiten, sowie der dadurch bedingte Phasenunterschied bei gegebener Dicke des Objects.
- Beim Drehen des Objects ändert sich natürlich das Verhältniss zwischen pq und rs , und es ist wichtig, sich über den Gang dieser Veränderungen zu orientiren. Wir denken uns vorläufig, die Drehungsaxe falle mit der mittlern Axe des Ellipsoids zusammen und die Drehung selbst finde in unserer Seitenansicht (Fig. 183) in der Ebene des Papiers statt; aa ist alsdann die grosse, cc die kleine Axe des Ellipsoids; die mittlere (bb) erscheint perspectivisch verkürzt. Betrachten wir nun zunächst die Stellung, in welcher aa mit der Ebene des Gesichtsfeldes zusammenfällt, so geht

hier die wirksame Elasticitätsellipse durch die Axen aa und bb des Ellipsoids. Dieselbe hat also ungefähr die Form, wie sie in Fig. 185 unter A dargestellt ist, indem natürlich bb grösser als cc und kleiner als aa . Drehen wir jetzt das Ellipsoid um die Axe bb und lassen es hierbei wie eine rollende Kugel von links nach rechts vorrücken, so entspricht selbstverständlich jeder Stellung eine andere Elasticitätsellipse. In sämtlichen Ellipsen, die hierbei successive zur Wirkung kommen, hat aber die eine Axe, weil sie die Drehungsaxe ist, die constante Länge bb , indess die andere nach und



Figur 185.

nach alle Werthe zwischen aa und cc annimmt und nach einem halben Umlauf wieder gleich aa wird. In der Ebene der Kreisschnitte (kk und $k'k'$ in Fig. 184) sind natürlich beide Axen einander gleich (Fig. 185 B); darüber hinaus wird die quergestellte Axe kleiner als bb und nimmt continuirlich ab, bis sie endlich nach einer Drehung von 90° mit der Axe cc des Ellipsoids zusammenfällt (Fig. 185 C). Bei fortgesetzter Drehung wiederholen sich die möglichen Formen der Schnittfläche in umgekehrter Reihenfolge, bis aa zum zweiten Male in die Ebene des Gesichtsfeldes fällt. Hie mit sind die möglichen Stellungen des Ellipsoids erschöpft; denn da die beiden Scheitel gleichwerthig sind, so ist das Wiedererreichen der horizontalen Lage mit der Rückkehr zum Ausgangspunkte gleichbedeutend.

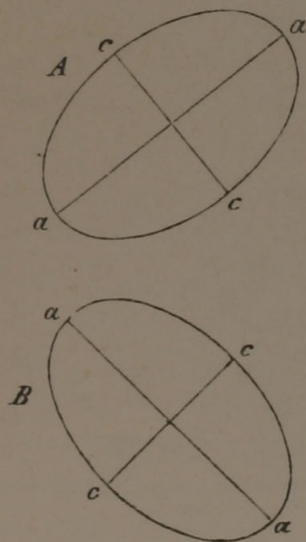
Die Lagen des Ellipsoids, in welchen die Kreisschnitte horizontal zu 308 liegen kommen, verdienen nachträglich noch eine besondere Betrachtung. Die Elasticität des Aethers ist in diesen Lagen nach allen Richtungen im Gesichtsfelde gleich gross, ganz so, wie in einer isotropen Substanz. Dem entsprechend wird das von unten einfallende Licht auch nur einfach gebrochen und die Polarisation unterbleibt. Die Normalen auf den Kreisschnitten entsprechen hienach den Richtungen, in welchen das Licht sich wie in einem einfach brechenden Medium bewegt; es sind diess die op-

tischen Axen. Die Linie, welche ihren spitzen Winkel halbiert, heisst die Mittellinie; je nachdem dieselbe mit der grössten oder mit der kleinsten Axe unseres Ellipsoids zusammenfällt, pflegt man die Körper optisch-positiv oder optisch-negativ zu nennen.

- 309 Kehren wir jetzt zu unserer Ausgangsstellung (Fig. 185 A) zurück, um von hier aus die Drehung um die Axe aa zu verfolgen. Wir stellen uns vor, das Ellipsoid werde auf der Papierfläche nach oben gerollt, so dass die Drehungsaxe nach einem Viertelumlauf mit aa in Fig. 185 D zusammenfällt. In dieser Lage steht offenbar bb senkrecht zur Papierfläche und die kleinste Axe cc wird optisch wirksam. Die Axen der Elasticitätsellipse sind also aa und cc . In unserer Figur sind hier auch die optischen Axen (oo und $o'o'$), weil sie in die Ebene der Zeichnung fallen, dargestellt. — Bei fortgesetzter Drehung würde natürlich die kleine Axe der Ellipse wieder zunehmen, bis sie nach einer halben Umdrehung zum zweiten Mal ihren Maximalwerth bb erreicht hätte.

Drehen wir endlich das Ellipsoid noch um die dritte Axe cc , so bildet offenbar cc die eine Axe der wirksamen Elasticitätsellipsen, welche den verschiedenen Stellungen entsprechen, indess die andere Axe nach und nach alle Werthe zwischen aa und bb annimmt. In unserer Figur ist die Ellipse dargestellt, die nach einer Drehung von 90° zur Wirkung kommt (Fig. 185 E).

- 310 Es erübrigt jetzt noch, die Drehung um eine Linie zu verfolgen, die mit keiner der drei Axen zusammenfällt. Wir stellen uns vor, das Ellipsoid sei vorerst um die Axe bb gedreht worden, bis es die in Fig. 183 dargestellte



Figur 186.

Neigung oder eine beliebige andere erreicht hatte, und beginnen nun, von dieser Stellung ausgehend, die Drehung um die Linie mn . Wir erhalten alsdann nach einer Drehung von 90° eine Elasticitätsellipse, deren grosse Axe aa und deren kleine cc ist (Fig. 186). Diese Elasticitätsellipse ist aber, je nachdem die Drehung in dieser oder jener Richtung erfolgte, verschieden orientirt; sie ist nach rechts geneigt (A), wenn man den obern Scheitel in Fig. 183 unter die Papierebene sinken lässt, nach links dagegen (B), wenn man ihn aus der Papierebene heraushebt. Die Ellipsen, welche Drehungswinkeln zwischen 0 und 90° entsprechen, bilden mit Rücksicht auf Form und Stellung Uebergänge zwischen den beiden Endgliedern. Dem Winkel 0° entspricht aber offenbar eine Ellipse, welche so ∞ oder so 0 orientirt sein

kann, je nachdem mn grösser oder kleiner als die mittlere Axe. Die Uebergänge werden also im ersten Fall beispielsweise in der Art stattfinden, dass sich die Ellipse mit ihrem rechten Scheitel hebt und dabei

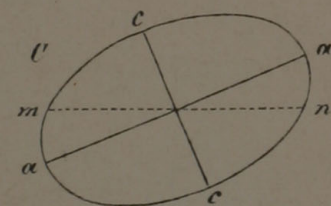
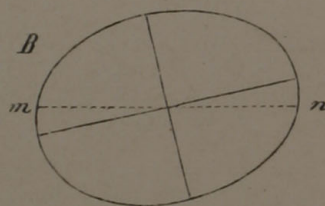
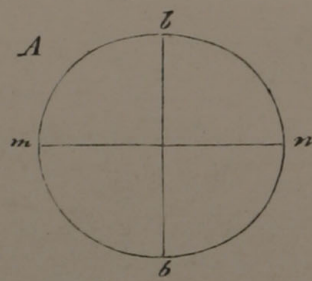
gleichzeitig verlängert (Fig. 187 *A, B, C*), während im zweiten Fall mit einer ähnlichen Streckung eine allmählig stärker werdende Neigung nach rechts verbunden ist (Fig. 188 *A, B, C*).

Eben so leicht lassen sich die Schnittflächen bestimmen, welche beim Drehen um einen beliebigen andern Durchmesser in der Ebene des Gesichtsfeldes wirksam werden. Man hat nur nöthig, die bekannte Ellipse der Ausgangsstellung mit der ebenfalls bekannten nach einer Drehung von 90° zu vergleichen; die Zwischenglieder bilden alsdann in Form und Stellung die Uebergänge.

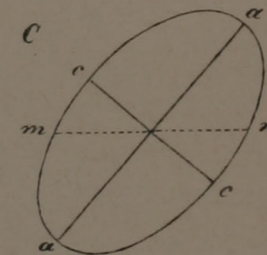
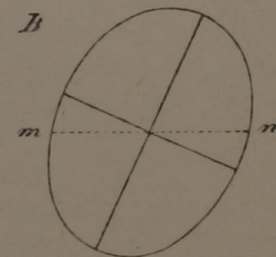
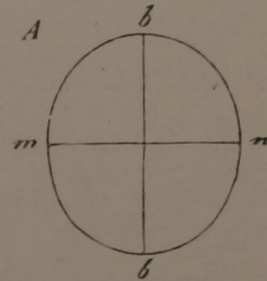
Die Axenrichtungen der wirksamen Elasticitätsellipsen bleiben überhaupt unver-

ändert, wenn die Drehung um eine in der Ebene des Gesichtsfeldes liegende Hauptaxe des Ellipsoids erfolgt; sie erfahren dagegen eine stetige Veränderung, wenn ein beliebiger anderer Durchmesser oder eine geneigt stehende Axe die Drehungsaxe bildet. Der approximative Gang dieser Veränderung ist durch die bekannten oder doch leicht zu construierenden Schnittflächen bestimmt, welche nach einer Drehung von 90° wirksam werden.

Es unterliegt also, wie man aus dem Vorhergehenden entnehmen wird, 311 keiner Schwierigkeit, die Axenlage der Elasticitätsellipse für jede beliebige Neigung unseres Ellipsoids annähernd zu bestimmen und die während der Drehung erfolgenden Veränderungen in Betreff der Stellung und Excentricität, soweit nöthig, festzustellen. Mit der Axenlage sind aber auch die Polarisations Ebenen der beiden Wellensysteme gegeben, und mit der Excentricität steigt und fällt auch der Phasenunterschied, welchen dieselben in einem Medium von bestimmter Dicke erlangen. Der Phasenunterschied bedingt aber bekanntlich die Interferenzfarbe, und so gelangen wir denn zu dem Schluss, dass sich das optische Verhalten eines doppelbrechenden Mediums, dessen Elasticitätsellipsoid ge-



Figur 187.



Figur 188.

geben ist, für jede beliebige Richtung der durchgehenden Lichtstrahlen zum Voraus bestimmen lässt.

- 312 Wir haben die vorstehenden Erörterungen absichtlich an den allgemeinen Fall, dass die drei Axen des Elasticitätsellipsoids ungleich sind, angeknüpft, weil die besondern Fälle, die man sich denken kann, eigentlich schon darin enthalten sind. Doch mag es nachträglich zur Vervollständigung des Gesagten nicht ganz überflüssig sein, auch diese besondern Fälle in Kürze zu erwähnen. Denken wir uns zunächst, die Differenz zwischen der mittlern und der kleinsten Axe des Ellipsoids werde allmählig kleiner und zuletzt gleich Null, so nähern sich die beiden Kreisschnitte immer mehr der Ebene der genannten Axen, indem sie immer spitzere Winkel mit derselben bilden, und fallen endlich mit ihr zusammen. Die beiden optischen Axen bewegen sich folglich in entgegengesetzter Richtung; sie fallen, wenn sie die grösste Axe des Ellipsoids erreicht haben, in eine einzige optische Axe zusammen. Das brechende Medium wird dadurch optisch einaxig und zwar positiv, weil es auch im zweiaxigen Zustande, bevor der Axenwinkel $= 0$ wurde, der oben gegebenen Definition gemäss, positiv war. — Lassen wir dagegen die mittlere Axe allmählig der grössten gleich werden, so fallen die optischen Axen zuletzt mit der kleinsten Axe des Ellipsoids zusammen und das negativ zweiaxige Medium wird negativ einaxig.

Die Elasticitätsfläche ist folglich in einaxigen Medien stets ein Rotationsellipsoid, und zwar fällt die Rotationsaxe bei optisch-negativen mit dem kleinsten, bei optisch-positiven mit dem grössten Durchmesser zusammen. Die Schnittflächen eines solchen Ellipsoids sind natürlich im Allgemeinen ebenfalls Ellipsen und nur, wenn sie senkrecht auf der Rotationsaxe stehen, Kreise. Die Veränderungen der Stellung und der Excentricität, welche die optisch wirksame Ellipse während der Drehung des Ellipsoids erfährt, lassen sich hier, da die Aufgabe durch die Gleichheit zweier Axen bedeutend vereinfacht wird, so leicht übersehen, dass uns eine besondere Besprechung derselben überflüssig erscheint.

3. Bestimmung der Elasticitätsaxen.

- 313 Die Verwerthung der im Vorhergehenden entwickelten Abhängigkeit des optischen Verhaltens von der Lage und Form des Elasticitätsellipsoids beruht auf dem Princip der Reciprocität. Wenn es möglich ist, aus der Richtung und relativen Grösse der drei Axen den Gang der Erscheinungen, welche man beim Drehen um eine beliebige senkrechte oder wagrechte Axe beobachtet, zum Voraus zu bestimmen, so muss es umgekehrt auch möglich sein, aus den bekannten optischen Erscheinungen die Richtung und relative Grösse der Elasticitätsaxen abzuleiten und so das Elasticitäts-

ellipsoid gleichsam in das brechende Medium hinein zu construiren. Darin besteht aber gerade die Aufgabe, die man sich bei Untersuchungen im polarisirten Licht zu stellen hat; mit ihrer Lösung ist der Zweck, um den es sich gewöhnlich handelt, vollständig erreicht *).

Wir haben uns also jetzt mit der Frage zu beschäftigen, wie die Bestimmung der Elasticitätsaxen practisch ausführbar sei. Der Beobachter hat hierbei zweierlei Unbekannte ins Auge zu fassen, die wir deshalb auch gesondert betrachten wollen, nämlich die Richtungen der Axen und die relativen Längen derselben. Was zunächst den ersten Punct, die Axenrichtungen, betrifft, so bedarf es für Leser, welche die Polarisationserscheinungen aus physikalischen Lehrbüchern einigermaassen kennen, eigentlich kaum einer Anleitung, da es sich hier bloss um die Anwendung der Fundamentalgesetze handelt. Jedenfalls können wir uns auf einige kurz gefasste Sätze beschränken.

1) Sind Polarisator und Analysator am Mikroskop so gestellt, dass sie sich rechtwinklig kreuzen, so ist bekanntlich das Gesichtsfeld dunkel. Ein doppelbrechendes Object erscheint alsdann ebenfalls dunkel, wenn die Axen der Elasticitätsellipse in die Polarisationsebenen der Nicols fallen, in jeder andern Lage dagegen — wenn nicht zufällig ein Kreisschnitt des Ellipsoids der Fläche des Gesichtsfeldes parallel geht — mehr oder weniger erleuchtet und zwar am intensivsten, wenn sie um 45° von jenen Ebenen abweichen. Wir wollen diese letztere Stellung in der Folge als diagonale, erstere dagegen, in welcher das Object dunkel erscheint, als orthogonale Stellung bezeichnen. Es ist klar, dass jede dieser Stellungen die Axenrichtungen der Elasticitätsellipse bestimmt. Da jedoch die grösste Dunkelheit stets sicherer erkannt wird, als das grösste Licht, so verdient die orthogonale Stellung bei Winkelmessungen den Vorzug.

2) Um zu entscheiden, ob ein Object, das beim Drehen um eine verticale Axe dunkel bleibt, zu den einfach brechenden gehört, oder ob vielleicht gerade ein Kreisschnitt des Elasticitätsellipsoids optisch wirksam sei, hat man nur nöthig, die Beobachtung in verschiedenen andern Lagen des Objects, wie man sie durch Drehen um horizontale Axen erhält, zu wiederholen. Die Doppelbrechung muss sich alsdann kundgeben, wenn überhaupt eine solche stattfindet, freilich immer unter der Voraussetzung, dass die wirksame Schicht mächtig genug sei, um einen augenfälligen Effect hervorzurufen.

3) Ist das Object doppelbrechend und die Axenrichtung der wirksamen Elasticitätsellipse bekannt, so fragt es sich weiter, ob vielleicht die

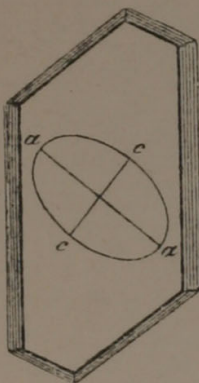
*) Weiter gehende Fragen, wie z. B. ob und wie eine ungleichmässige Quellung das Verhältniss der Elasticitätsaxen ändere, ob die Ursache der Doppelbrechung in den einzelnen Micellen (Molecülgruppen) organisirter Körper, oder in der Anordnung dieser Micellen liege etc., kommen jedenfalls erst in zweiter Linie in Betracht und setzen die Lösung der bezeichneten Aufgabe voraus.

eine ihrer Axen oder beide zugleich Axen des Ellipsoids seien. Um diess zu erfahren, bringt man das Object in die diagonale Stellung und dreht es hierauf mittelst der oben (S. 342) beschriebenen Vorrichtung um die zu prüfende Axe und zwar successive nach entgegengesetzten Seiten. Finden hiebei die nämlichen Veränderungen statt, man mag nach dieser oder jener Seite hin drehen, d. h. beobachtet man bei gleichem Drehungswinkel in beiden Fällen denselben Farbenwechsel, so ist die auf der Drehungsaxe senkrechte Richtung eine Axe des Ellipsoids. Man gelangt zu dieser Folgerung durch Umkehrung des Satzes, dass zwei Schnittflächen, welche mit einer Axe des Ellipsoids gleiche Winkel bilden, unter sich gleich sind. — In der orthogonalen Stellung gilt in allen Fällen, wo das Drehen eine Erhellung zur Folge hat, dieselbe Regel, und wenn das Gesichtsfeld dunkel bleibt, so ist die Drehungsaxe selbst eine Axe des Ellipsoids.

4) Sind dagegen die Veränderungen, welche man beim Drehen nach der einen und andern Seite hin beobachtet, ungleich, so liegt keine der Axen des Ellipsoids in der Ebene des Gesichtsfeldes. Man wiederholt alsdann die nämliche Probe an andern Schnittflächen und setzt die Beobachtungen so lange fort, bis man endlich eine Fläche gefunden hat, welche den oben erwähnten Bedingungen Genüge leistet.

5) Ist eine der Axen des Ellipsoids bestimmt, so liegen die beiden andern selbstverständlich in einer darauf senkrechten Schnittfläche. Man hat daher nur nöthig, diese Schnittfläche zur Wirkung zu bringen und deren Elasticitätsaxen, welche zugleich die Axen des Ellipsoids sind, in bekannter Weise zu bestimmen.

315 Zum Ueberfluss mögen hier noch ein paar Beispiele Platz finden, welche das Gesagte erläutern. Ein tafelartig entwickelter Gypskrystall (Fig. 489), an welchem die Abstumpfungsfläche der scharfen Säulenkanten die



Figur 489.

vorherrschende ist, erscheint im Polarisationsmikroskop bei gekreuzten Nicols dunkel, wenn die Richtungen aa und cc (erstere bildet mit den Seitenlinien einen Winkel von 50°) mit den Polarisationsebenen der Nicols parallel verlaufen, und folglich am hellsten, wenn dieselben in die diagonale Stellung gebracht werden. Diese Richtungen sind demnach die Axen der Elasticitätsellipse. Beim Drehen um die Axe aa sind die Veränderungen nach beiden Seiten hin gleich, ebenso beim Drehen um die Axe cc . Beides sind also zugleich Axen des Ellipsoids; die dritte Axe steht folglich senkrecht zur tafelartigen Fläche. —

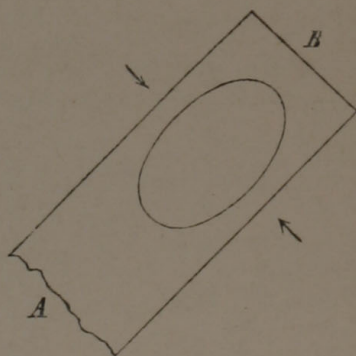
Dreht man den Krystall um die linke oder rechte Kante, so dass die dritte Axe in die Ebene des Gesichtsfeldes zu liegen kommt, so kann dieselbe in gleicher Weise als solche erkannt werden; die auf ihr senkrecht stehende Richtung im Gesichtsfelde ist aber in diesem Falle keine Axe des Ellipsoids,

was sich beim Drehen des Krystalls um seine Queraxe auch sogleich kundgiebt *).

Ganz ähnlich verhalten sich auch flache Membranen freier Pflanzenzellen. Die Axen der Elasticitätsellipsen, welche bei Flächenansichten wirksam sind, erweisen sich beim Drehen stets als Axen des Ellipsoids. Die vorkommenden Richtungsverschiedenheiten beziehen sich also nur auf die Lage derselben innerhalb einer Ebene, d. h. auf die Winkel, welche die Axen mit der Längs- und Querrichtung der Zelle bilden. Auf senkrecht zur Membranfläche geführten Schnitten verläuft dem entsprechend eine Axe der wirksamen Elasticitätsellipse in der Richtung der Schichten; die andere steht senkrecht darauf und ist zugleich Axe des Ellipsoids. — Von den Membranen der Gewebezellen gilt, soweit sie bekannt sind, dasselbe; allein die Beobachtung wird hier durch den Umstand erschwert, dass die beiden Lamellen, woraus die Scheidewände bestehen, eigentlich zwei Objecte darstellen, deren Elasticitätsaxen möglicher Weise sehr verschieden orientirt sind.

Der zweite Punct, welcher bei Bestimmung des Elasticitätsellipsoids **316** in Betracht kommt, nämlich die relative Grösse der Axen, setzt unter Umständen schon eine weiter gehende Kenntniss der Polarisationserscheinungen voraus. Vor Allem ist nothwendig, dass der Beobachter die Scala der Interferenzfarben, welche bei allmählicher Zunahme des Gangunterschiedes zwischen den ordentlichen und ausserordentlichen Strahlen auftreten, wenigstens bis zur 3ten oder 4ten Ordnung aus eigener Anschauung kenne, und dass er über die Factoren, welche das Steigen oder Fallen der Farben verursachen, im Klaren sei. Diejenigen, welche diese Vorkenntnisse nicht besitzen, müssen wir daher zunächst auf die physikalischen Lehrbücher verweisen, da eine ausführliche Erörterung der betreffenden Erscheinungen uns hier zu weit führen würde. Wir halten es aber immerhin für unsere Aufgabe, die für das Verständniss wichtigern Puncte in ihrem Zusammenhang vorzuführen und deren Beziehungen zum Elasticitätsellipsoid darzulegen.

Ist *AB* (Fig. 490) ein in der Richtung der Pfeile comprimirtes Parallelepiped von Glas, z. B. das eine Ende eines Objectträgers, so hat dessen wirksame Elasticitätsellipse die in der Figur dargestellte Orientirung. Ein solcher Objectträger erscheint bei rechtwinkliger Kreuzung der Nicols am hellsten



Figur 490.

317

*) Zu solchen Beobachtungen sind übrigens bloss schmale, fast nadelförmige Krystalle geeignet. Grössere Tafeln erscheinen in aufrechter Stellung weiss oder geben wenigstens zu hohe Interferenzfarben, als dass die Veränderungen, welche das Drehen um eine wagrechte Axe hervorruft, sich deutlich genug wahrnehmen liessen.

erleuchtet, wenn er mit den Polarisationssebenen derselben einen Winkel von 45° bildet und sich also in diagonalen Stellung befindet. Er erzeugt alsdann im weissen Licht eine Interferenzfarbe, welche bei gegebener Dicke um so höher steigt, je stärker der seitliche Druck, je grösser folglich die Excentricität der Ellipse. Gestattet die Einrichtung eine allmähliche Steigerung des Druckes, so bilden die resultirenden Farben eine Reihe, welche mit derjenigen der Newton'schen Ringe übereinstimmt. — Dieselbe Reihe wird natürlich auch zu Stande kommen, wenn man die Dicke des brechenden Mediums durch Aufeinanderlegen einer grössern Zahl gleich stark, aber nur wenig comprimierter Glasplatten allmählich verstärkt; denn es ist einleuchtend, dass der Gangunterschied, den die unterste dieser Platten hervorruft, durch jede folgende um eine gleiche Grösse gesteigert wird. Ebenso erklärt sich auch die Wirkung eines Keils: die allmählich steigende Dicke ruft hier die Farben in ihrer natürlichen Reihenfolge neben einander hervor.

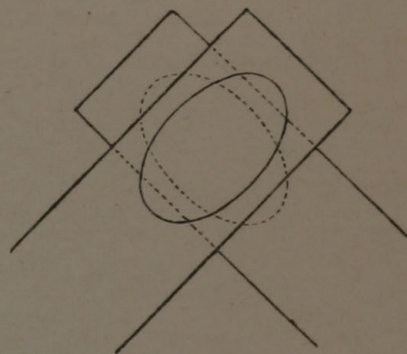
Wir gelangen also, da sich die krystallinischen Medien auch in dieser Beziehung ähnlich verhalten wie das comprimirt Glas, zu dem allgemeinen Gesetz, dass die Interferenzfarbe mit der Excentricität der wirksamen Ellipse und mit der Mächtigkeit des brechenden Mediums steigt und fällt.

318 Da die Farben der höhern Ordnungen sich bloss in rothen und grünen Tönen bewegen, die um so blasser werden, je mehr sie steigen, und sich daher immer undeutlicher von einander abstufen, so haben für die mikroskopische Beobachtung die drei ersten Ordnungen eine hervorragende Bedeutung und verdienen daher auch ein genaueres Studium. Aus diesem Grunde zählen wir nachstehend die unterscheidbaren Nuancen der tiefern Farben mit etwas grösserer Vollständigkeit auf, als es gewöhnlich in physikalischen Lehrbüchern geschieht. In der zweiten Columne sind überdiess für jede Ordnung die complementären Farben, welche den Newton'schen Ringen im durchgelassenen Lichte entsprechen, angegeben.

Erste Ordnung.		Zweite Ordnung.	
Schwarz	Lebhaftweiss	Purpurroth	Hellgrün
Eisengrau	Weiss	Violett	Grünlichgelb
Graublau	Gelblichweiss	Indigo	Lebhaftgelb
Heller graublau	Gelbbraunlich	Blau	Orange
Hellbläulich	Gelbbraun	Blaugrünlich	Orangebraun
Grünlichweiss	Braunroth	Grün	Hellcarminroth
Weiss	Rothviolett	Hellergrün	Purpurroth
Gelblichweiss	Violett	Gelblichgrün	Purpurviolett
Gelb	Hellindigo	Grünlichgelb	Violett
Braungelb	Graublau	Reingelb	Indigo
Bräunlich orange	Blau	Orange	Dunkelblau
Rothorange	Blaugrün	Lebhaft Orangeroth	Grünlichblau
Roth	Blassgrün	Dunkel Rothviolett	Grün
Dunkelroth	Gelbgrün		

Dritte Ordnung.		Vierte Ordnung.	
Violett	Grünlichgelb	Hellviolett	Hellgrünlichgelb
Blau	Gelborange	Bläulichgrün	Hellrosa
Grün	Roth	Grün	Hellroth
Gelb	Violett	Hellgrünlichgelb	Lila
Rosenroth	Grünlichblau	Hellgelblichroth	Hellgrünlichblau
Roth	Grün	Hellroth	Hellgrün
Fünfte Ordnung.		Sechste Ordnung.	
Hellblau	Hellrosa	Hellblau	Hellrosa
Hellgrün	Hellroth	Sehr hellgrün	Hellroth
Weisslich	Weisslich	Weisslich	Weisslich
Hellroth	Hellgrün	Sehr hellroth	Hellgrünlich

Legt man zwei doppelbrechende Platten von gleicher Dicke und mit 319 gleicher wirksamer Elasticitätsellipse so über einander, dass sie sich rechtwinklig kreuzen (Fig. 194), so verhalten sie sich wie ein einfach brechendes Medium. Die Lichtschwingungen, welche in der untern Platte parallel der grössern Axe stattfinden, fallen nämlich in der obern mit der Ebene der kleinen Axe zusammen und umgekehrt. Das Verhältniss der Geschwindigkeiten, mit welchen die beiden Wellensysteme die untere Platte durchsetzen, wird folglich beim Eintritt in die obere umgekehrt, der erlangte Phasenunterschied also während des Durchgangs wieder ausgeglichen. Wäre die eine Platte um die Grösse d dicker als die andere, so müsste die Gesamtwirkung offenbar dieselbe sein, wie wenn eine Lamelle von der Dicke d für sich allein beobachtet würde.



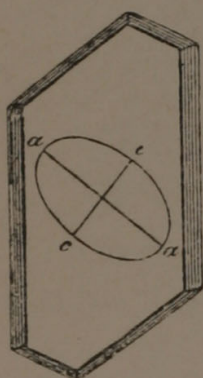
Figur 194.

Dasselbe Raisonnement lässt sich auch auf Platten von beliebiger Dicke und beliebiger Elasticitätsellipse anwenden. Die Wirkungen werden sich immer addiren, wenn die beiden Ellipsen gleich orientirt sind, und theilweise oder gänzlich aufheben, wenn die Ellipsen sich rechtwinklig kreuzen. Nehmen wir z. B. an, die Interferenzfarbe der einen Platte sei Roth der ersten Ordnung, die der andern Gelb der ersten Ordnung (natürlich immer unter der Voraussetzung, dass die Stellung eine diagonale sei), so erhält man als Gesamtwirkung beider für die Additionslage eine Farbe der zweiten Ordnung (Gelb II) und für die Subtractionslage eine Farbe der ersten Ordnung (Hellbläulich I), welche um eine dem Gelb entsprechende Stufenzahl tiefer steht als Roth.

Wir werden weiterhin auf diese Additions- und Subtractionsfarben 320 zurückkommen und dieselben für eine Reihe von Combinationen, wie sie in der Praxis gewöhnlich vorkommen, zusammenstellen; hier handelt es

sich nur darum, sie zur Bestimmung der relativen Grösse der Elasticitätsaxen zu verwerthen, und hiezu genügen die erwähnten Thatsachen vollkommen. Es ist einleuchtend, dass die Vergleichung eines beliebigen Mediums mit einer comprimierten Glasplatte, deren Elasticitätsellipse bekannt ist, ein sehr einfaches Mittel darbieten muss, das unbekannte Elasticitätsellipsoid richtig zu orientiren. Bezeichnen wir die drei Axen desselben, deren Richtungen wir als bekannt voraussetzen, mit a , b und c , so hat man nur nöthig, die durch ab gelegte Schnittfläche mit der Glasplatte zu combiniren; die Lage, in welcher Addition oder Subtraction stattfindet, entscheidet alsdann, ob a oder b grösser sei. In derselben Weise bestimmt man auf Schnittflächen, die parallel bc geführt sind, das Verhältniss von b zu c , und auf andern durch ac geführten das Verhältniss von a zu c . Damit ist die Aufgabe, soweit es nach diesem Verfahren möglich ist, gelöst; man weiss, welche Richtung der kleinsten, mittlern und grössten Elasticität entspricht.

321 Die bereits oben angeführten Beispiele mögen auch hier zur nähern Erläuterung dienen. Wird der tafelartig entwickelte Gypskrystall (Fig. 492) so auf die comprimirte Glasplatte gelegt, dass die Richtung aa der grössern Elasticitätsaxe im Glase parallel geht, so beobachtet man ein Steigen der Interferenzfarbe: die Wirkungen der beiden Medien addiren sich. Dreht man dagegen um 90° , so findet Subtraction statt und die Interferenzfarbe



Figur 492.

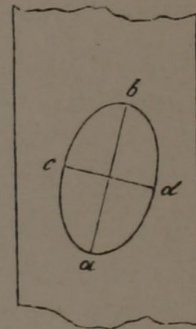
fällt. Von den zwei Axen des Ellipsoids, welche den Richtungen aa und cc parallel gehen, ist hienach die letztere kleiner als die erste. — Was nun noch die dritte senkrecht stehende Axe betrifft, so ist die Bestimmung derselben mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Aus der unsymmetrischen Lage der Axen aa und cc geht zwar hervor, dass der Krystall ein zweiaxiger ist, was die Gleichheit der dritten Axe mit einer der bereits bestimmten ausschliesst; allein es bleibt immer noch zu untersuchen, ob dieselbe die grösste, oder die kleinste oder die mittlere Axe sei. Da nun Schnitte durch den

Krystall in der Richtung der Hauptebenen nicht herstellbar sind, so bildet das Drehen um die beiden horizontalen Axen die einzige hier anwendbare Prüfungsmethode. Der Beobachter hat sich hiebei an folgende theoretische Folgerungen zu halten. 1) Ist die dritte Axe die grösste, so muss beim Drehen um aa eine Stellung erreicht werden, in welcher eine optische Axe die Richtung des durchgehenden Lichtes hat. Die Interferenzfarben müssen also rasch fallen, in der bezeichneten Stellung in Schwarz übergehen und bei weiterer Drehung wieder steigen. 2) Ist die dritte Axe die kleinste, so müssen die nämlichen Veränderungen beim Drehen um cc eintreten. 3) Ist die dritte Axe die mittlere, so kann die Farbe in keinem Fall auf Schwarz heruntersinken. Die wirksame Elasticitätsellipse wird zwar beim Drehen um aa sowohl als um cc weniger

excentrisch, jedoch ohne den Kreis jemals zu erreichen. Da nun der längere Weg, den die Lichtstrahlen in der geneigten Krystalltafel durchlaufen, andererseits den Gangunterschied verstärkt, so kann dieser Einfluss unter Umständen vorwiegend werden und trotz der geringern Excentricität der Ellipse ein Steigen der Farben verursachen.

Die Beobachtung ergibt nun, dass die Farbe eines Gypskrystalls (Gypsplättchens) beim Drehen um aa steigt und beim Drehen um cc fällt. Dieser letztere Umstand beweist, dass die dritte Axe jedenfalls nicht die grösste sein kann; aber ob sie die kleinste oder die mittlere sei, lässt sich aus dem ganzen Verhalten kaum mit Sicherheit entnehmen, da die Neigung der durchgehenden Strahlen in Folge der Brechung an der Oberfläche nur bis zu einer gewissen Grenze gesteigert werden kann, die Richtung der optischen Axen also möglicher Weise nicht erreicht wird. Man müsste die Drehung in einem annähernd gleich dichten Medium, z. B. in Oel, ausführen und überdiess das Steigen und Fallen der Farbe genauer studiren, um hierüber Gewissheit zu erlangen*).

Viel einfacher gestaltet sich die Aufgabe bei flachen Membranen, wie 322 überhaupt bei Objecten, die sich in beliebiger Richtung durchschneiden lassen. Sind hier zwei von den drei Axen bekannt, so wird ihr Verhältniss zur dritten Axe auf Durchschnitten, welche parallel den entsprechenden Hauptebenen geführt wurden, direct bestimmt. Ist z. B. $abcd$ (Fig. 193) die Elasticitätsellipse eines flachen Membranstückes und zeigt ein parallel cd geführter Querschnitt, dass die dritte Axe kleiner als cd , so ist sie natürlich die kleinste Axe des Ellipsoids. Wäre sie grösser, so müsste das Verhältniss zu ab entscheiden, ob sie die grösste oder die mittlere sei.



Figur 193.

Mit der relativen Grösse der Elasticitätsaxen ist zugleich, wie bereits 323 bemerkt, die Ebene der optischen Axen gegeben, da dieselbe stets

*) Dreht man einen einaxigen Krystall von geeigneter Form um die horizontal gestellte optische Axe, so bleibt die Elasticitätsellipse unverändert und das Steigen der Farbe rührt bloss von der Verlängerung des Weges in Folge der Neigung her. Die Vergleichung dieser Farbenänderung mit derjenigen eines unbekannten Krystalls muss folglich herausstellen, ob der Gangunterschied bei letzterem in stärkerem oder schwächerem Verhältniss wächst, womit zugleich entschieden ist, ob die Excentricität der Elasticitätsellipse während der Drehung zu- oder abnimmt. Für den Gyps erhält man auf diese Weise mit ziemlicher Sicherheit das Ergebniss, dass die dritte Axe die mittlere ist. Im Allgemeinen fallen indess die Resultate der Beobachtung zu unbestimmt aus, als dass ein näheres Eingehen auf diese und ähnliche theoretische Folgerungen gerechtfertigt erschiene.

Aus dem Vorstehenden erhellt übrigens zur Genüge, dass die Folgerungen, welche Valentin (die Untersuchung der Pflanzen- und der Thiergewebe im polarisirten Licht. S. 144) aus dem erwähnten Steigen und Fallen der Farbe bei Gypsplättchen zieht, durchaus unrichtig sind. Er sagt nämlich, die Ebene der optischen Axen entspreche »daher« der diagonalen Richtung $+45^0$ (die in unserer Figur mit cc bezeichnet ist), während sie in Wirklichkeit mit der Ebene des Plättchens zusammenfällt.

durch die grösste und die kleinste Elasticitätsaxe geht. Eine planplane Platte, welche parallel der mittlern Axe geschnitten ist, muss folglich beim Drehen um diese Axe zweimal in eine solche Lage kommen, dass die von unten einfallenden Strahlen sie in der Richtung einer optischen Axe durchsetzen; sie muss sich alsdann wie ein einfach brechendes Medium verhalten und bei gekreuzten Nicols schwarz erscheinen. Man hat also nur nöthig, die diesen Lagen entsprechenden Neigungen der Platte zu messen und dabei die Ablenkung an den Grenzflächen der Platte zu berücksichtigen, um den Winkel, den die optischen Axen unter sich bilden, annähernd zu bestimmen. Fallen auch solche Bestimmungen nicht gerade genau aus, so ist es doch in der Regel möglich zu entscheiden, ob das Object positiv oder negativ sei.

- 324 Um in der Deutung der resultirenden Interferenzfarben nicht irre zu gehen, ist es immer rathsam, die Additions- und die Subtractionslage genau mit einander zu vergleichen. War die Deutung richtig, so muss die Subtraction eine Farbe ergeben, welche gegen die höhere der beiden combinirten Farben um eben so viel zurücksteht, als diese gegen die Additionsfarbe. Combinirt man z. B. Blau II mit Gelb I, so erhält man in der einen Lage ein Roth, welches der Geübtere als Roth II erkennt, in der andern ein Gelb, das mit Gelb I übereinstimmt. In der Farbenscala stehen auch in der That Roth II und Gelb I ungefähr gleich weit von Blau II ab, und die Wiederholung der Combination mit bekannten Gypsplättchen liefert vollends den Beweis, dass Blau II und Gelb I in der Additions- und Subtractionslage die oben erwähnten Farben geben.

Da eine solche Wiederholung der Combination stets die beste Controle gewährt, so lassen wir hier noch zwei Tabellen folgen, in welchen die Additions- und Subtractionsfarben für eine Reihe von Fällen zusammengestellt sind. Die Benennungen gründen sich für die drei ersten Ordnungen auf die Eintheilung derselben in je 6 Farben, deren Abstände auf einem keilförmig geschliffenen Krystall ungefähr gleich sind. Bezeichnet man also die Farben der ersten Ordnung mit 1—6, die der zweiten mit 7—12 u. s. f., so lässt sich eine beliebige Combinationsfarbe durch Addition oder Subtraction der entsprechenden Ziffern zum Voraus bestimmen, wodurch jedenfalls die rasche und sichere Deutung der beobachteten Farbe wesentlich erleichtert wird. Die Farben 6 (Roth I) und 3 (Weiss I) geben z. B. in der Additionslage $6 + 3 = 9$ (Grün II) und in der Subtractionslage $6 - 3 = 3$ (Weiss I). Wir bemerken übrigens, dass die Farben der käuflichen Gypsplättchen den eingebildeten Abstufungen nicht immer genau entsprechen und dass oft die gleichnamigen Nummern derselben Fabrik einen merklich abweichenden Farbenton hervorrufen.

Die zweite Tabelle gewinnt durch den Umstand, dass ein Gypsplättchen, welches Roth I gibt, das Steigen und Fallen der Farbe in der Regel am leichtesten erkennen lässt, einen besondern practischen Werth.

Erste Tabelle.

Combinirte Farben		Additions- Farbe	Subtractions- Farbe
Grau I	Grau I	Hellbläulich I	Schwarz
Hellbläulich I	Grau I	Weiss I	Grau I
—	Hellbläulich I	Gelb I	Schwarz
Weiss I	Grau I	Gelb I	Hellbläulich I
—	Hellbläulich I	Orange I	Grau I
—	Weiss I	Roth I	Schwarz
Gelb I	Grau I	Orange I	Weiss I
—	Hellbläulich I	Roth I	Hellbläulich I
—	Weiss I	Indigo II	Grau I
—	Gelb I	Blau II	Schwarz
Orange I	Grau I	Roth I	Gelb I
—	Hellbläulich I	Indigo II	Weiss I
—	Weiss I	Blau II	Hellbläulich I
—	Gelb I	Grün II	Grau I
—	Orange I	Gelb II	Schwarz
Roth I	Grau I	Indigo II	Orange I
—	Hellbläulich I	Blau II	Gelb I
—	Weiss I	Grün II	Weiss I
—	Gelb I	Gelb II	Hellbläulich I
—	Orange I	Orange II	Grau I
—	Roth I	Roth II	Schwarz
Indigo II	Grau I	Blau II	Roth I
—	Hellbläulich I	Grün II	Orange I
—	Weiss I	Gelb II	Gelb I
—	Gelb I	Orange II	Weiss I
—	Orange I	Roth II	Hellbläulich I
—	Roth I	Violett III	Grau I
—	Indigo II	Blau III	Schwarz
Blau II	Grau I	Grün II	Indigo II
—	Hellbläulich I	Gelb II	Roth I
—	Weiss I	Orange II	Orange I
—	Gelb I	Roth II	Gelb I
—	Orange I	Violett III	Weiss I
—	Roth I	Blau III	Hellbläulich I
—	Indigo II	Grün III	Grau I
—	Blau II	Gelb III	Schwarz
Grün II	Grau I	Gelb II	Blau II
—	Hellbläulich I	Orange II	Indigo II
—	Weiss I	Roth II	Roth I
—	Gelb I	Violett III	Orange I
—	Orange I	Blau III	Gelb I
—	Roth I	Grün III	Weiss I
—	Indigo II	Gelb III	Hellbläulich I
—	Blau II	Rosa III	Grau I
—	Grün II	Roth III	Schwarz
Gelb II	Grau I	Orange II	Grün II
—	Hellbläulich I	Roth II	Blau II
—	Weiss I	Violett III	Indigo II
—	Gelb I	Blau III	Roth I
—	Orange I	Grün III	Orange I
—	Roth I	Gelb III	Gelb I
—	Indigo II	Rosa III	Weiss I
—	Blau II	Roth III	Hellbläulich I
—	Grün II	Bläulichgrün IV	Grau I
—	Gelb II	Grün IV	Schwarz
Orange I	Grau I	Roth II	Gelb II
—	Hellbläulich I	Indigo III	Grün II
—	Weiss I	Blau III	Blau II
—	Gelb I	Grün III	Indigo II

Combinirte Farben		Additions- Farbe	Subtractions- Farbe
Orange I	Orange I	Gelb III	Roth I
—	Roth I	Orange III	Orange I
—	Indigo II	Roth III	Gelb I
—	Blau II	Violett IV	Weiss I
—	Grün II	Blau IV	Hellblau I
—	Gelb II	Grün IV	Grau I
—	Orange II	Grün IV	Schwarz
Roth II	Grau I	Violett III	Orange II
—	Hellbläulich I	Blau III	Gelb II
—	Weiss I	Grün III	Grün II
—	Gelb I	Gelb III	Blau II
—	Orange I	Rosa III	Indigo II
—	Roth I	Roth III	Roth I

Zweite Tabelle.

Object ohne Gypsplättchen	Combinirt mit Gypsplättchen Roth I	
	Additionsfarbe	Subtractionsfarbe
Grau I	Indigo II	Orange I
Hellbläulich I	Blau II	Gelb I
Weiss I	Grün II	Weiss I
Gelb I	Gelb II	Hellbläulich I
Orange I	Orange II	Grau I
Roth I	Roth II	Schwarz
Indigo II	Violett III	Grau I
Blau II	Blau III	Hellbläulich I
Grün II	Grün III	Weiss I
Gelb II	Gelb III	Gelb I
Orange II	Rosa III	Orange I
Roth II	Roth III	Roth I
Violett III	Hellrothviolett IV	Indigo II
Blau III	Bläulichgrün IV	Blau II
Grün III	Grün IV	Grün II
Gelb III	Hellgrünlich IV	Gelb II
Rosa III	Hellrosa IV	Orange II
Roth III	Hellroth IV	Roth II
Hellviolett IV	Hellroth IV	Violett III
Bläulichgrün IV	Hellviolettroth V	Blau III
Grün IV	Hellblau V	Grün III

III.

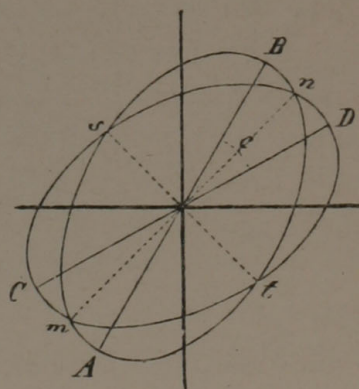
Das Verhalten zweier übereinander liegender krystallähnlicher Körper, deren Schwingungsebenen sich schiefwinklig kreuzen.

325 Die bisherigen Betrachtungen finden in allen Fällen, wo das Untersuchungsobject ein krystallähnliches Medium darstellt, unmittelbare An-

wendung; sie genügen also auch für flache Membranstücke und andere organisirte Gebilde, die sich wie Krystalle verhalten. In der Praxis ist es nun aber nicht immer möglich, die zu untersuchenden Gegenstände so zu präpariren, dass der optisch wirksame Theil jener Bedingung genügt, d. h. die Vergleichung mit einem einfachen Krystall rechtfertigt. Handelt es sich z. B. um horizontal liegende kleine Zellen oder Fasern, welche aus concentrischen Molecularschichten bestehen, deren Elasticitätsellipsen schief gegen die Längsrichtung der Zelle orientirt sind, so wirken zwar die in der Medianzone liegenden Stücke der Wandungen einzeln wie einfache Krystalle; allein man müsste die Fasern offenbar erst spalten, um diese Wirkungen gesondert beobachten zu können, und eine solche Spaltung ist in manchen Fällen nicht ausführbar. Ganz dasselbe gilt auch von mässig verdickten Membranen, welche die Scheidewände zwischen benachbarten Zellen bilden und daher als aus zwei Lamellen zusammengesetzt zu betrachten sind. Denn da die Verdickungen solcher Membranen (man denke an Spiralfasern, schiefgestellte Poren etc.) in der Regel ungleich orientirt sind, was auf eine entsprechende Lage der Molecularreihen deutet, so fallen voraussichtlich auch die Elasticitätsachsen der beiden Lamellen nicht in die nämliche Ebene.

Der Beobachter hat es also nicht selten mit zwei untrennbaren übereinander liegenden Medien zu thun, deren Elasticitätsachsen sich unter beliebigen Winkeln kreuzen. Er stösst somit auf ein neues Problem, welches augenscheinlich grössere Verwicklungen darbietet als das vorhergehende, und es fragt sich erst, ob dasselbe einer Lösung im nämlichen Sinne überhaupt fähig sei. Wir wollen es versuchen, diese Frage auf experimentellem Wege zu erledigen.

Seien AB und CD (Fig. 194) die Elasticitätsellipsen der beiden übereinander liegenden Körper und e der (veränderlich gedachte) Winkel zwischen ihren grössern Axen. Die Einstellung werde stets so gewählt, dass die Halbirungslinie mn jenes Winkels unter 45° gegen die gekreuzten Nicols orientirt bleibt. Diess vorausgesetzt, erhält man für die verschiedenen Werthe von e erfahrungsgemäss folgende Wirkungen. Ist e sehr klein, so verstärken sich die Wirkungen der beiden Körper fast so, als ob dieselben in der Additionslage, wo $e = 0$, beobachtet würden: die resultirende Farbe erfährt bis zu einer Winkelgrösse von mehreren Graden keine erhebliche Veränderung. Bei weitergehender Zunahme von e erfolgt jedoch bald ein entschiedenes Fallen der Interferenzfarbe, das sich namentlich bis zu dem mittlern Werth von 45° durch eine deutliche Aenderung des Farbentons ausspricht. Von da an bleibt zwar die Farbe annähernd



Figur 194.

dieselbe; das Gesichtsfeld verfinstert sich aber immer mehr, bis endlich bei einem Winkel von 90° vollständige Dunkelheit oder doch wenigstens — wenn nämlich die beiden Körper nicht genau gleich sind — die grösste Verfinsterung eintritt. Der Uebergang aus einem Farbenton in den andern geschieht allerdings in etwas anderer Weise als bei der Newton'schen Reihe, meistens so, als ob die beiden Farben in immer wechselndem Verhältniss mit einander vermischt würden; doch lässt sich das Steigen oder Fallen der Farbe in der grossen Mehrzahl der Fälle keineswegs verkennen.

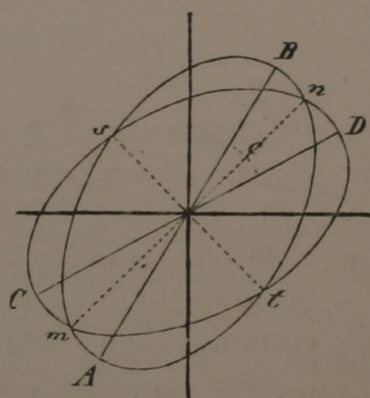
- 327 Legt man z. B. zwei Gypsplättchen, von denen jedes Blassbläulich der ersten Ordnung giebt, in der angegebenen Weise auf einander, so erhält man für $e = 0$ Gelb I, für $e = 22\frac{1}{2}^\circ$ Hellgelb, für $e = 45^\circ$ Weiss, endlich für $e = 67\frac{1}{2}^\circ$ Bläulichweiss. Diese Farben entsprechen offenbar nur solchen Tönen, welche rückwärts auf Gelb I folgen. Einige weitere Beispiele sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Zwei Gyps- plättchen	$e = 0$	$e = 22\frac{1}{2}^\circ$	$e = 45^\circ$	$e = 67\frac{1}{2}^\circ$
Grau I	Hellbläulich	Weniger hell bläulich	Bläulich	Dunkelbläulich
Hellbläulich I	Gelb	Hellgelb	Weiss	Bläulichweiss
Weiss I	Violett	Hellviolett	Weiss	Gelblichweiss
Gelb I	Blau	Hellgrünlich	Gelborange	Gelb
Orange I	Gelb	Gelb	Dunklergelb	Dunkelgelb
Roth I	Roth	Roth	Dunklerroth	Dunkelroth
Blau II	Grünlichgelb	Blaugrün	Blau	Blau
Grün II	Roth	Weiss	Grün	Dunklergrün
Gelb II	Grün	Gelb	Dunklergelb	Dunkelgelb

Wie man aus dieser Zusammenstellung ersieht, stimmt die Farbe, welche man in der Stellung $e = 45^\circ$ erhält, mit derjenigen der einzelnen Platte durchgehends so ziemlich überein oder steht ihr wenigstens sehr nahe. Man kann somit — da die Additionsfarbe für die Stellung $e = 0$ nach Früherem ebenfalls als gegeben zu betrachten ist — zum Voraus die Veränderungen bestimmen, welche die allmähliche Zunahme von e bei einem beliebigen Plattenpaar hervorruft. Diese Veränderungen bestehen immer in einem allmählichen, aber directen Uebergang der Additionsfarbe in die Farbe der einzelnen Platte.

- 328 Es erübrigt jetzt noch, die Wirkung eines festverbundenen Plattenpaares mit derjenigen eines Gypsplättchens oder überhaupt eines dritten doppelbrechenden Körpers zu combiniren. Wir haben gesehen, dass das Plattenpaar für sich allein gewissermaassen wie ein einzelner Körper wirkt, dessen Elasticitätsellipse sich um so mehr dem Kreise nähert, je grösser der Winkel e . Stellt man sich vor, die Axen dieser Ellipse seien die Verbindungslinien der Punkte mn und st (Fig. 495), in welchen die beiden Platten entsprechenden Ellipsen sich schneiden, so entspricht diese Vorstellung insofern der Wirklichkeit, als der Unterschied zwischen der

grossen Axe mn und der kleinen st in Uebereinstimmung mit der Interferenzfarbe continuirlich sinkt, wenn e sich vergrössert, und endlich Null wird, wenn $e = 90^\circ$; sie entspricht daher voraussichtlich auch der Gesamtwirkung eines Plattenpaares und eines Gypsplättchens. Die Lage, in welcher die eingezeichnete Elasticitätsellipse mit derjenigen des Gypsplättchens gleiche Orientierung hat, wird auch hier eine Additionsfarbe, diejenige dagegen, in welcher die homologen Axen sich rechtwinklig kreuzen, eine Subtractionsfarbe hervorrufen. So verhält es sich denn auch in der That, wie man aus folgender Zusammenstellung entnehmen wird.



Figur 495.

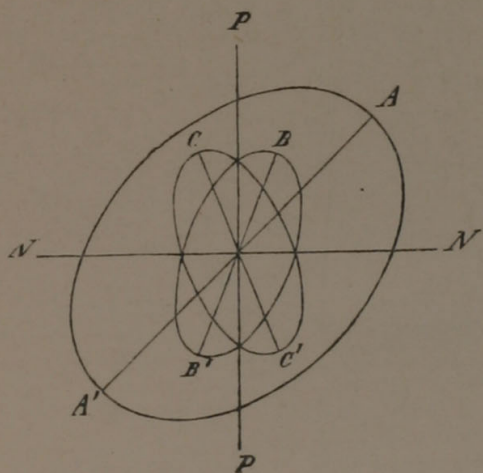
Zwei Krystallplatten	Winkel e	Mit Gypsplättchen Roth I	
		Additionsfarbe	Subtractionsfarbe
Schwärzlichgrau I	0	Indigoviolett II	Orange I
	$22\frac{1}{2}^\circ$	Violett	Röthlichorange
	45°	Röthlichviolett	Rothorange
	$67\frac{1}{2}^\circ$	Rothviolett	Dunkelrothorange
Grau I	0	Blaugrün II	Hellgelb I
	$22\frac{1}{2}^\circ$	Grünlichblau	Orange gelb
	45°	Blau	Orange
	$67\frac{1}{2}^\circ$	Indigo	Röthlichorange
Hellbläulich I	0	Gelb II	Hellbläulich I
	$22\frac{1}{2}^\circ$	Grüngelb	Weiss
	45°	Hellgrün	Gelblichweiss
	$67\frac{1}{2}^\circ$	Hellgrünlichblau	Hellröthlichorange
Weiss I	0	Roth II	Schwarz
	$22\frac{1}{2}^\circ$	Hellrothorange	Grünlich
	45°	Grünlichgelb	Grünlichweiss
	$67\frac{1}{2}^\circ$	Grünlichweiss	Weiss
Gelb I	0	Blaugrün III	Weiss I
	$22\frac{1}{2}^\circ$	Grün	Weiss
	45°	Gelb	Weiss
	$67\frac{1}{2}^\circ$	Orange	Bläulichlila
Orange I	0	Hellgelb	Gelb I
	$22\frac{1}{2}^\circ$	Gelborange	Hellorange
	45°	Orange	Weisslich
	$67\frac{1}{2}^\circ$	Rothorange	Lila

Die Farbenübergänge stimmen natürlich auch hier nicht mit denen der Newton'schen Reihe überein, doch ist das Steigen und Fallen der Farbe bei zunehmendem e in der Regel deutlich ausgesprochen. Die höchste Additions- und die tiefste Subtractionsfarbe giebt selbstverständlich die Stellung $e = 0$; wird $e = 90^\circ$, so erhält man in allen Lagen das Roth des Gypsplättchens.

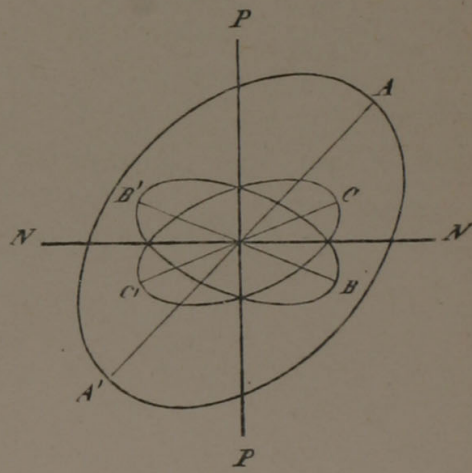
— In Fällen, wo der Farbenwechsel ausnahmsweise undeutlich ist, kann derselbe durch Anwendung eines andern Gypsplättchens, z. B. Grau I, deutlicher gemacht werden.

- 329** Dreht man das Plattenpaar, ohne den Winkel e zu ändern, auf dem Gypsplättchen um eine verticale Axe, indem man es z. B. aus der Additions-lage allmählig in die Subtractionslage überführt, so bemerkt man hiebei Farbenübergänge, welche weder mit der Newton'schen Reihe, noch mit den Farben einer einzigen Platte in den entsprechenden Stellungen übereinstimmen. Während die letztere beim Drehen auf einem Gypsplättchen Töne hervorruft, die sich auf der Palette durch Mischung der Additions- oder Subtractionsfarbe mit der Farbe des Gypsplättchens herstellen lassen, erzeugt das Plattenpaar einen Farbenwechsel complicirter Art, der bis jetzt nur für die einfachern Fälle bestimmt formulirt werden konnte. Die practische Bedeutung, die diesem Farbenwechsel zukommt, erheischt aber dessenungeachtet eine ausführliche Erörterung.

Als durchgreifende Eigenthümlichkeit der Veränderungen, die man beim Drehen des Plattenpaares auf einem Gypsplättchen beobachtet, kann die Verschiedenheit der Farbe in den beiden orthogonalen Stellungen, wo die Halbierungslinie des Winkels e mit der Polarisationsebene des untern oder des obern Nicol zusammenfällt, bezeichnet werden. Diese Stellungen können in der That, wie man sich durch Veranschaulichung der drei wirk-samen Elasticitätsellipsen in ihrer gegenseitigen Lage leicht überzeugen kann, unter keinen Umständen ganz gleichwerthig sein. Sind z. B. AA' , BB' und CC' (Fig. 196) die Ellipsen des Gypsplättchens und der beiden übereinander liegenden Krystallplatten in ihrer Reihenfolge von unten nach



Figur 196.

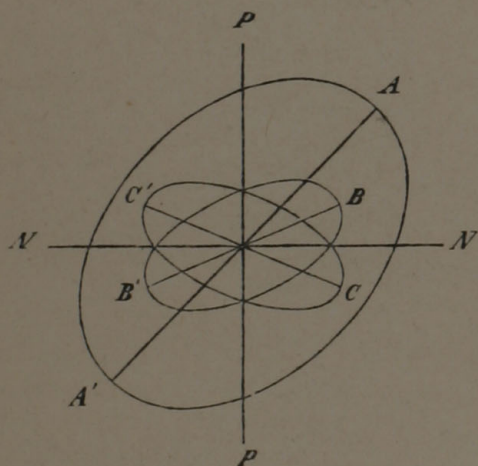


Figur 197.

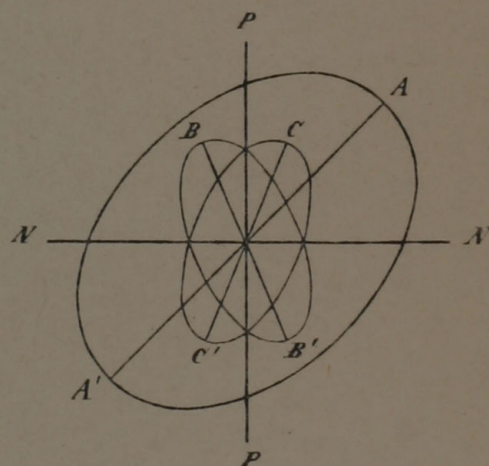
oben, ferner PP und NN die senkrecht zu einander gestellten Polarisations-ebenen der beiden Nicols; dann ist aus unserer Figur sogleich ersichtlich, dass in der hier dargestellten Lage die homologen Schwingungsebenen der Ellipsen auf einander folgen, wie die Stufen einer Wendeltreppe, indem

die alphabetische Ordnung der Buchstaben ABC oder $A'B'C'$ zugleich der Reihenfolge der entsprechenden Axen in der Richtung einer linksläufigen Spirale entspricht. Diess ist die orthogonale Consecutivstellung. Denkt man sich dagegen das Plattenpaar um 90° gedreht (Fig. 197), so fällt CC' zwischen BB' und AA' ; die Ellipsenscheitel ABC oder $A'B'C'$ liegen also nicht mehr treppenförmig, sondern im Zickzack übereinander — eine Lage, die man im Gegensatz zur vorhergehenden als orthogonale Alternativstellung bezeichnet.

Die Verschiedenheit der Farben, die diese Stellungen hervorrufen, ist nun in vielen Fällen der Art, dass die Vergleichung derselben mit der Additions- und Subtractionsfarbe die erforderlichen Anhaltspunkte bietet, um eine gegebene orthogonale Stellung als Consecutiv- oder als Alternativstellung zu erkennen. Ist diess der Fall, so ergibt sich hieraus unmittelbar die Beantwortung der Frage, wie die wirksame Elasticitätsellipse in der oberen und in der unteren Platte geneigt sei. Ist z. B. Fig. 198 als Consecutiv-, Fig. 199 als Alternativstellung erkannt worden, so weiss man, dass die Ellipse BB' der unteren, CC' der oberen Platte angehört.



Figur 198.



Figur 199.

Zur Vergleichung der Farbentöne, um die es sich hier handelt, mag **330** folgende Uebersicht dienen, welche nach Beobachtungen an verschiedenen Plattenpaaren, die sich unter Winkeln von $22\frac{1}{2}^\circ$, 45° und $67\frac{1}{2}^\circ$ kreuzten, zusammengestellt ist. In der ersten Combinationsfolge bewegen sich die Additionsfarben in der zweiten Ordnung, d. h. es sind Farben, welche für $e = 0$ in die zweite Ordnung der Newton'schen Reihe fallen. Die zweite Combinationsfolge bezieht sich dagegen auf Additionsfarben, welche der dritten Ordnung angehören. Das Gypsplättchen, auf welchem die Drehung ausgeführt wurde, war Roth I. Die Farbe der Consecutivstellung ist mit C., die der Alternativstellung mit A. bezeichnet.

Erste Combinationsfolge.

Additionsfarbe	Farben der orthogon- alen Stellungen	Subtractionsfarbe
Rothviolett	{ C. Dunkelroth A. Hellroth	Dunkelrothorange
Röthlichviolett	{ C. Violettroth A. Orangeroth	Rothorange
Violett	{ C. Dunkelroth A. Hellroth	Röthlichorange
Indigo	{ C. Violettindigo A. Rothorange	Röthlichorange
Blau	{ C. Indigo A. Dunkelorange	Orange
Hellgrün	{ C. Blau A. Gelborange	Gelblichweiss
Grüngelb	{ C. Blauindigo A. Dunkelorange	Weiss

Zweite Combinationsfolge.

Additionsfarbe	Farben der orthogon- alen Stellungen	Subtractionsfarbe
Grün	{ C. Rothorange A. Blauindigo	Weiss
Grünlichgelb	{ C. Grün A. Weiss	Grünlichweiss
Gelb	{ C. Orange A. Bläulichweiss	Weiss
Gelborange	{ C. Rothorange A. Dunkelindigo	Hellorange
Orange	{ C. Rothorange A. Helllila	Bläulichlila
Orange	{ C. Röthlichorange A. Violett	Weisslich
Rothorange	{ C. Rothorange A. Violettroth	Lila
Hellrothorange	{ C. Grünlich A. Hellroth	Grünlich

In dieser Uebersicht lässt nur die erste Combinationsfolge, wo jede Platte für sich allein weniger als Weiss I, beide zusammen für $e = 0$ daher nicht ganz Roth I geben, eine gewisse Gesetzmässigkeit erkennen. Hier bleibt die Farbe der orthogonalen Consecutivstellung, wie der diagonalen Additionsstellung, immer über, die Farbe der Alternativ- und der Subtractionsstellung dagegen immer unter dem Roth des Gypsplättchens, indem »Dunkelroth« das Roth bezeichnet, welches den Uebergang zu Violett II bildet, »Hellroth« dagegen den Uebergang zu Rothorange. *)

Die zweite Combinationsfolge wird durch Paare von Platten erhalten, von denen jede für sich allein Weiss I oder eine höhere Farbe giebt. Die Farben der verschiedenen Stellungen sind hier an und für sich, da sie eines

*) Vgl. Nägeli, die Anwendung des Polarisationsmikroskops. Beiträge III, p. 98.

bestimmten additionalen oder subtractionalen Charakters entbehren, nicht zu einer Deutung geeignet.

Kehren wir jetzt das Problem um und fragen wir uns, welche Anhalts- 331
punkte die bereits entwickelten Beziehungen darbieten, um nach bekannten Polarisationsfarben die unbekannten Elasticitätsellipsen zweier über einander liegender Platten zu bestimmen. Zunächst ist klar, dass die Farben der stärksten Addition oder Subtraction, die man beim Drehen auf einem Gypsplättchen beobachtet, stets den beiden Stellungen entsprechen, die wir als diagonale Additions- und Subtractionsstellung bezeichnet haben; dass sie folglich Aufschluss darüber geben, wie der spitze Winkel e , den die grossen Axen der Elasticitätsellipsen unter sich bilden, orientirt sei. Die Halbierungslinie dieses Winkels ist also hiedurch bestimmt.

In zweiter Linie entscheidet die Beobachtung, ob die Farben der beiden orthogonalen Stellungen deutlich genug ausgeprägt sind, um hienach die Consecutiv- oder Alternativstellung als solche zu erkennen. Wo diess der Fall, ist die Lage der untern und der obern Elasticitätsellipse in dem oben bezeichneten Sinne bestimmt; wo es nicht der Fall, kann die Untersuchung in der Regel an kleinern Objecten derselben Art, welche eine beträchtlich tiefere Farbe erzeugen, wiederholt werden. Es gelingt auf diese Weise, bei den meisten organisirten Gebilden, die wie ein Plattenpaar wirken (Membranen, Fasern, Prosenchymzellen u. dgl.), einen Farbenwechsel zu erzielen, welcher unverkennbar der ersten Combinationsfolge in obiger Zusammenstellung angehört und daher eine sichere Deutung gestattet.

Die möglichen Lagen der Elasticitätsellipsen reduciren sich jetzt auf den Spielraum, den der spitze Winkel e noch übrig lässt. Um diesen Winkel zu bestimmen, kann man es versuchen, die Farben der beiden Lamellen auf senkrecht zur Flächenausdehnung geführten Schnitten gesondert zu beobachten, um allfällig aus dem Steigen und Fallen derselben beim Drehen nach verschiedenen Seiten einige weitere Schlüsse zu ziehen. In der Mehrzahl der Fälle wird man indess die Ueberzeugung gewinnen, dass dieser Theil des Problems unlösbar ist.

IV.

Das Verhalten cylindrischer und kugeligcr Objecte mit concentrisch gruppirten anisotropen Elementen.

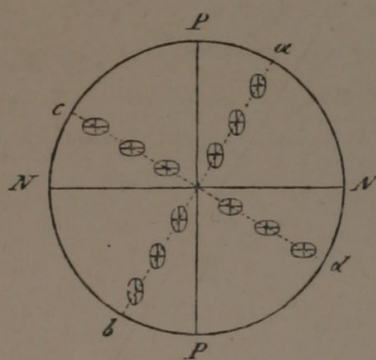
Ein ferneres Problem, das in der Praxis häufig vorkommt, ist die Be- 332
stimmung der Elasticitätsaxen in kugeligen oder cylindrischen Gebilden, deren Elemente in radialen Reihen um die Axe oder den Mittelpunkt liegen, wie diess bei Stärkekörnern, cylindrischen Fasern und Röhren etc. der

Fall ist. Die Schwierigkeiten, die man hiebei zu überwinden hat, sind ähnlicher Natur, wie im vorhergehenden Falle; sie liegen in der Ungleichheit der Stellungen der doppelbrechenden Elemente zum durchgehenden Lichtstrahl und in der Verschiedenheit der Annahmen, die sich mit Rücksicht hierauf machen lassen. Der Gang der Untersuchung ist dadurch vorgeschrieben: es handelt sich darum, die denkbaren Möglichkeiten vor Allem klar ins Auge zu fassen und hierauf durch die Beobachtung auf einen möglichst engen Kreis zurückzuführen.

1. Cylindrische Objecte.

333 Der Name Cylinder und Hohlcylinder bezieht sich hier selbstverständlich nicht sowohl auf die äussere Form, als vielmehr auf die innere Structur, d. h. auf die Anordnung der doppelbrechenden Elemente. Wir setzen voraus, dass die Elemente des gleichen Radius hinsichtlich der Lage ihrer Schwingungsebenen und der Grösse der wirksamen Elasticitäten übereinstimmen, dass alle Radien, welche in einer durch die Axe gelegten Ebene liegen, einander gleich sind, und dass alle auf einem zur Axe rechtwinkligen Querschnitt befindlichen Radien sich so verhalten, als ob der nämliche Radius im Kreise herumgeführt würde.

Unter diesen Voraussetzungen bietet der Querschnitt durch den Cylinder die einfachste Combination, indem hier die Wirkungen der übereinander liegenden Elemente sich addiren, wie in einem einfachen Krystall, und überdiess die Stellungen der auf einem Radius wirksamen Elasticitätsellipsen unter sich übereinstimmen (Fig. 200). Der Gesamteffect ergibt sich hieraus von selbst. Jeder Durchmesser des Querschnitts verhält sich



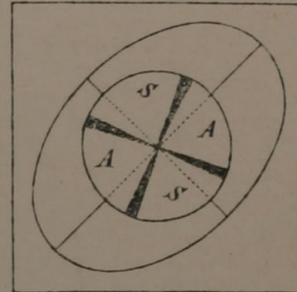
Figur 200.

wie eine Krystallnadel (oder bei dickern Schnitten wie eine senkrecht stehende Krystallplatte), und die Interferenzfarben, welche beim Drehen der Krystallnadel um eine senkrechte Axe nach einander zum Vorschein kommen, finden sich auf der Schnittfläche gleichzeitig neben einander. Zwei diametrale Zonen ab und cd , in welchen die Axen der Elasticitätsellipsen in die Polarisations Ebenen PP und NN der Nicols fallen, wirken demzufolge wie einfach brechende Medien; sie

erscheinen ohne Gypsplättchen schwarz und mit einem Gypsplättchen von der unveränderten Interferenzfarbe desselben erhellt. Die Mittellinien der dazwischenliegenden Quadranten zeigen daher nothwendig die lebhaftesten Farben, und zwar in Verbindung mit einem Gypsplättchen paarweise Additions- oder Subtractionsfarben, je nachdem die homologen Axen der Ellipsen zusammenfallen oder sich rechtwinklig kreuzen. Auf einem Gypsplättchen

Roth I, dessen Elasticitätsellipse die in Fig. 204 dargestellte Lage besitzt, würden also die mit *A* bezeichneten Quadranten unseres Cylinders die Farbe steigern, während die mit *S* bezeichneten dieselbe erniedrigen.

Auf Querschnitten durch Cylinder und Hohl-cylinder ist hienach die Axenlage der wirksamen Elasticitätsellipsen leicht zu ermitteln. Wir fügen hinzu, dass alle bis jetzt bekannt gewordenen Fälle darin übereinstimmen, dass die eine Axe radial, die andere tangential verläuft, indem die neutralen Zonen, welche das dunkle Kreuz bilden, stets in die Polarisations Ebenen der Nicols fallen. Die in Fig. 200 und 204 dargestellte Abweichung ist also nicht beobachtet, sondern bloss der Allgemeinheit wegen vorausgesetzt.



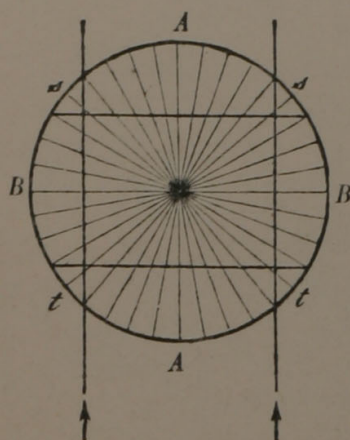
Figur 204.

Der Querschnitt durch den Cylinder giebt uns also Aufschluss darüber, **334** ob die Axenrichtungen der Elasticitätsellipsen mit dem Radius und der Tangente zusammenfallen oder dieselben schiefwinklig kreuzen, und im erstgenannten Fall, ob die tangentiale oder die radiale Axe die grössere sei. Was ist nun aber damit gewonnen? Angenommen, die beiden Axen gehen wirklich dem Radius und der Tangente parallel, so fragt sich weiter, ob vielleicht die eine derselben zugleich Axe des Ellipsoids sei, oder ob man es mit einem beliebigen Diametralschnitt zu thun habe. Diese Frage ist nicht immer leicht zu beantworten. Die oben erwähnte Prüfung mittelst Drehen um die beiden Axen kann nämlich nur in solchen Fällen zum Ziel führen, wo der Querschnitt im Verhältniss zum Cylinderdurchmesser nicht zu dick ist. Bei höhern Stücken ist das Verfahren schon deshalb nicht anwendbar, weil dieselben, wenn sie merklich schief stehen, nicht mehr wie Querschnitte wirken. Um weitere Anhaltspunkte zu gewinnen, wird man also in der Mehrzahl der Fälle auf Längsschnitte und, wo diese nicht herstellbar sind, auf Längsansichten angewiesen sein.

Was zunächst die Längsschnitte betrifft, so ist einleuchtend, dass **335** eine mittlere Lamelle *BB* (Fig. 202), wenn sie flach auf dem Objectträger liegt, über die Axenlage der Elasticitätsellipse in der Diametralebene des Cylinders entscheidet. Denn da die Randpartieen einer solchen Lamelle annähernd wie ein Krystallplättchen wirken, so muss sich sogleich herausstellen, ob die beiden Axen der Längs- und Querrichtung parallel gehen, oder ob sie diese Richtungen schiefwinklig kreuzen. Von diesem letztern Falle dürfen wir übrigens vorläufig gänzlich absehen, da eine solche Kreuzung, soweit die bisherigen Beobachtungen reichen, nirgends vorkommt.

Wir nehmen also an, die im Quer- und Längsschnitt wirksamen Elasticitätsellipsen haben die radiale Axe gemein. Die durch die beiden andern Axen gelegte Ebene steht alsdann senkrecht auf dem Radius. Hieraus lässt sich nun, wenn man die Eigenschaften des Ellipsoids erwägt, der weitere

Schluss ziehen, dass die gemeinsame radiale Axe eine Axe des Ellipsoids sei und dass demzufolge die beiden andern Axen desselben in einer tangentialen Ebene liegen. Man hat also nur nöthig, die



Figur 202.

Elasticitätsellipse eines Tangentialschnittes, wie z. B. der Cylindersegmente AA (Fig. 202), zu bestimmen, um nicht bloss die Richtungen der fraglichen Axen, sondern auch die relative Grösse derselben festzustellen.

Das Verhältniss der beiden tangentialen Axen zur radialen ist nun aber damit noch nicht gegeben, oder doch nur in dem Falle, wo die erstern der Längs- und Querrichtung des Cylinders entsprechen. In jedem andern Falle ist der Beobachter darauf angewiesen, dieses Verhältniss auf Schnitten, welche durch die zu vergleichenden Axen geführt sind, oder wenn dieselben nicht zum Ziele führen, durch Neigen des Cylinders, wovon später die Rede sein wird, besonders auszumitteln.

- 336** Sollte es sich herausstellen, dass Schnitte, welche senkrecht zu einer der drei Axen geführt wurden, sich wie einfach brechende Medien verhalten, so sind die beiden andern Axen unter sich gleich, die doppelbrechenden Elemente also optisch-einaxig. Ruft dagegen jeder durch zwei Axen gelegte Schnitt Farben hervor, so sind die Cylinderelemente optisch-zwei-axig. Ob ein Object in die eine oder andere Kategorie gehöre, kann im Allgemeinen nicht eher entschieden werden, als bis die Richtung einer optischen Axe auf experimentellem Wege, sei es auf Schnitten oder durch Drehen, ermittelt ist. Es gehört eine sehr mangelhafte Kenntniss der Erscheinungen dazu, wenn man sich einbildet, die optischen Eigenschaften eines Gegenstandes auf irgend einem beliebigen Durchschnitt erforschen zu können. *)

*) Die Verschiedenheiten, welche man auf solchen Durchschnitten beobachtet, werden von manchen Autoren mit Ausdrücken bezeichnet, welche in der krystallographischen Optik eine ganz andere Bedeutung haben. Mohl und Valentin sprechen z. B. von negativer und positiver Farbe oder Beschaffenheit eines Objects, je nachdem die Elasticitätsellipse, welche auf Querschnitten zur Wirkung kommt, radial oder tangential orientirt ist. An andern Orten wird die grosse oder kleine Axe der Ellipse, deren Wirkung man beobachtete, kurzweg die optische Axe genannt, und also stillschweigend vorausgesetzt, die letztere liege in der Ebene des Gesichtsfeldes, u. s. w. Es erscheint uns überflüssig, die Unzulässigkeit dieser und ähnlicher Benennungen, wie man sie in der einschlägigen Literatur findet, hier noch besonders darzulegen. Der Leser, welcher unsern bisherigen Erörterungen gefolgt ist, wird die nöthige Kritik selbst zu üben wissen.

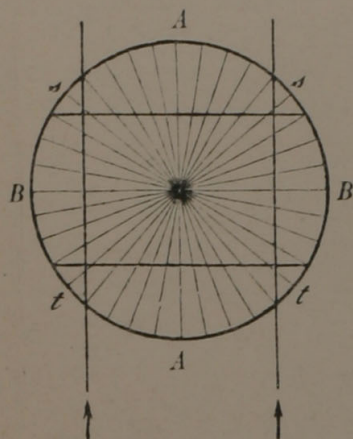
Beispielsweise mögen indess noch einige Angaben Valentin's über das Verhalten cylindrischer Gebilde (Die Unters. der Pflanzen- und Thiergewebe im polar. Licht, S. 464) in aller Kürze Erwähnung finden. Valentin setzt die einaxige Beschaffenheit der Cylinderelemente voraus und erklärt sodann das Zustandekommen des dunkeln Kreuzes im Querschnitt für die »drei Hauptrichtungen der optischen Axe«: die senkrechte, die tangentiale und die radiale. Der senkrechten Stellung der optischen Axe entspricht das »Kreuz erster Ordnung«, der tangentialen das »Kreuz zweiter Ordnung«, endlich der

Wir setzen zweitens den Fall, dass der Cylinder wegen seiner Klein- **337** heit oder aus andern Ursachen nicht gespalten werden könne und dass somit bloss Längsansichten des ganzen Cylinders zu Gebote stehen. Es ist vorauszusehen, dass solche Ansichten die diametralen Längsschnitte (*BB* Fig. 202) in den meisten Fällen ersetzen, indem der Licht-effect, den die beiden Randzonen hervorrufen, im Wesentlichen offenbar derselbe ist. Die Uebereinstimmung wird um so vollständiger sein, je mehr man die Lichtbrechung, die mit dem Eintritt in die Cylindersubstanz verbunden ist, vermindert. Gelingt es, dieselbe durch geeignete Wahl des umgebenden Mediums (Glycerin, Oel etc.) gänzlich zu beseitigen, so verhalten sich die von unten einfallenden Strahlen vollends wie in einer planplanen Platte, d. h. sie erlangen zunächst dem Rande dieselben Gangunterschiede, wie wenn das Mittelstück *BB* (Fig. 203) für sich allein wirksam wäre. Weiter nach innen kommen zwar noch die allmählich steigenden Effecte der dreieckigen Stücke *s* und *t* hinzu; allein es ist klar, dass sie in den peripherischen Schichten des Cylinders auf keinen Fall das Ueber-

radialen das »Kreuz dritter Ordnung«. Hiezu wird bemerkt, dass es Präparate aus dem Pflanzenreich (Eiweiss von *Phytelephas*) gebe, in denen Kreuze erster und solche dritter Ordnung neben einander in einem und demselben Querschnitt auftreten. — Gegen diese Darstellung ist zunächst einzuwenden, dass schon die Voraussetzungen, wenigstens soweit sie vegetabilische Präparate betreffen, mit der Wirklichkeit im Widerspruche stehen, indem z. B. alle Zellmembranen, die man genau kennt (es sind freilich nur wenige), sich als optisch-zweiaxig erwiesen haben. Aber auch abgesehen davon, ist das »Kreuz erster Ordnung« unter dem Polarisationsmikroskop, zumal bei Vergrösserungen, wie sie bei den meisten der hieher gehörigen Objecte nothwendig sind, eine physikalische Unmöglichkeit, indem bei senkrecht stehender Axe der ganze Querschnitt dunkel erscheint. Nur bemerken wir ausdrücklich, dass wir unter Polarisationsmikroskop ein gewöhnliches mit Polarisationsprismen ausgestattetes Mikroskop verstehen — das einzige Instrument übrigens, mit dem sich die von Valentin selbst angeführten mikroskopisch kleinen Objecte, wie Bastzellen, Pflanzeneiweiss etc., beobachten lassen. Das Bild, welches ein solches Instrument von Cylinderquerschnitten liefert, rührt nämlich von Lichtkegeln her, deren Oeffnung mit derjenigen der Blendung, resp. des polarisirenden Nicol übereinstimmt. Der Gesamteffect eines solchen Kegels mit Rücksicht auf Doppelbrechung ist aber für unser Auge annähernd derselbe, wie wenn die verschieden geneigten Strahlen das Object in der Richtung der Mikroskopaxe durchlaufen hätten. Ein Krystallplättchen, dessen optische Axe senkrecht steht, zeigt denn auch in der That keine Spur von Doppelbrechung. — Ganz anders wirken die Polarisationsapparate von Nörrenberg, Dove etc., die man hie und da ebenfalls, wenn auch mit Unrecht, als Mikroskope zu bezeichnen pflegt. Das reelle Bild, welches hier zu Stande kommt und durch die Ocularlinse betrachtet wird, ist nicht das Bild des zu untersuchenden Gegenstandes; die Strahlen, welche sich in der Bildebene kreuzen, stellen im Gegentheil, rückwärts verfolgt, ein parallelstrahliges Bündel dar, welches den Gegenstand mit um so grösserer Neigung gegen die Mikroskopaxe durchsetzt, je weiter der Kreuzungspunct von dieser Axe absteht. In jedem Punct des Bildes kommen also einfallende Strahlen von bestimmter Neigung zur Interferenz, und auf diesem Umstande beruht die Bildung von Ringen, wie man sie an senkrecht zur Axe geschliffenen Kalkspathplatten beobachtet.

Das »Kreuz erster Ordnung« kommt nur im Polarisationsapparat, nicht aber im Polarisationsmikroskop (ganz schwache Vergrösserungen ausgenommen) zu Stande. Valentin begeht in diesem wie in andern Puncten (Combination mit einem Gypsplättchen, Bestimmung der Axenrichtung etc.) den Fehler, seine theoretischen Erörterungen auf die Wirkung eines Polarisationsapparates zu basiren und die erhaltenen Resultate ohne Weiteres auf Beobachtungen mit dem Polarisationsmikroskop überzutragen. Dass eine solche Methode, verbunden mit den Eingangs erwähnten willkürlichen Voraussetzungen, auf Irrwege führen muss, wird Jedermann einleuchten.

gewicht erreichen. Die beiden Randzonen müssen folglich, wenn das umgebende Medium von annähernd gleicher Dichtigkeit ist, unter allen Umständen die Farben eines Diametralschnittes zeigen.

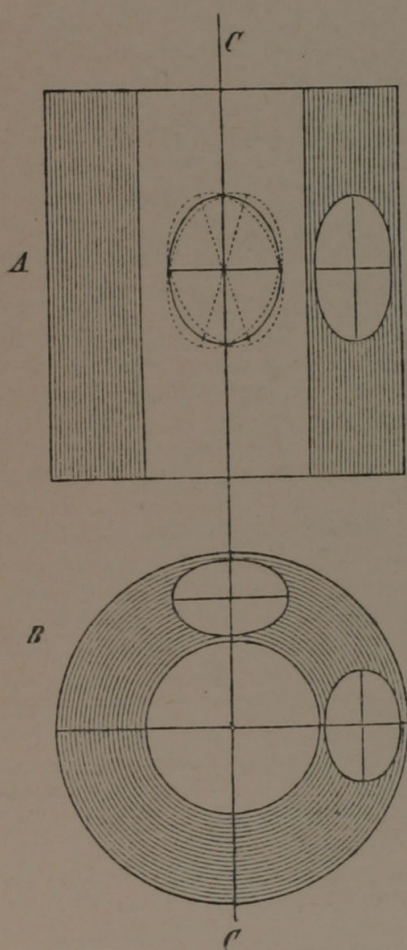


Figur 203.

Die mittlere Zone verhält sich dagegen in der Längsansicht, wie schon früher bemerkt, wie zwei übereinander liegende Krystallplättchen. Die Beobachtung kann daher höchstens entscheiden, ob die Axen der Elasticitätsellipsen der Längs- und Querrichtung entsprechen oder sich schiefwinklig kreuzen, und im letztern Falle, ob die Mittellinie des spitzen Winkels, den die grossen Axen unter sich bilden, längs oder quer gestellt und welche von den beiden Ellipsen die obere sei. Dass diese Data zur Construction des Elasticitätsellipsoids im Allgemeinen nicht ausreichen, bedarf nach dem, was oben

(pag. 339) hierüber gesagt wurde, keiner Erörterung. Es ist aber nichtsdestoweniger wichtig, die verschiedenen Fälle, welche die Beobachtung bieten kann, nach einander zu prüfen und die Consequenzen, die sich daraus ziehen lassen, für jeden einzelnen festzustellen.

338



Figur 204.

Es sei *A* (Fig. 204) der liegende Cylinder oder Hohlcyylinder und *B* der dazu gehörige Querschnitt. Die Elasticitätsellipsen, welche bei ersterem in der Mitte und am Rande wirksam sind, desgleichen diejenige des Querschnittes (hier auf der Linie *CC* liegend gedacht) seien durch Beobachtung bestimmt. Man weiss also von jeder derselben, ob sie in der Richtung der Axe *CC* oder in der darauf rechtwinkligen verlängert ist, oder ob sie neutral wirkt und daher einen Kreisschnitt des Ellipsoids darstellt. Nur ist hiezu zu bemerken, dass diese Data für die Mitte des liegenden Cylinders, im Falle die Elasticitätsellipsen der zu- und abgekehrten Seite sich kreuzen, auf jene eingebildete Ellipse zu beziehen sind, welche nach Früherem die Wirkung der beiden übereinander liegenden repräsentirt. Da nun jede dieser drei Ellipsen längs oder quer zur Cylinderaxe gestellt oder auch

ein Kreis sein kann, was wir mit *l* (längs), *q* (quer) und *o* bezeichnen

wollen, so ergeben sich im Ganzen 27 verschiedene Combinationen, wovon jedoch nur die folgenden 13 möglich sind:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Mitte	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
Rand	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>o</i>
Querschnitt	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>o</i>

Die übrigen 14 Combinationen, nämlich

	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.
Mitte	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>l</i>	<i>q</i>
Rand	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>o</i>	<i>o</i>
Querschnitt	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>

sind unmöglich, weil immer eine der drei angenommenen Stellungen, wie leicht nachzuweisen, mit den beiden andern unvereinbar ist. Man erhält z. B. aus Combination 14, wenn man die längsgestellte Ellipsenaxe (der Median- und Randansicht) mit *L*, die radiale Axe mit *R* und die tangentiale mit *T* bezeichnet, die Ungleichheiten: $R < T$, $R > L$, $L > T$, was unmöglich ist. Eben so leicht ist der Beweis für die übrigen Combinationen zu liefern.

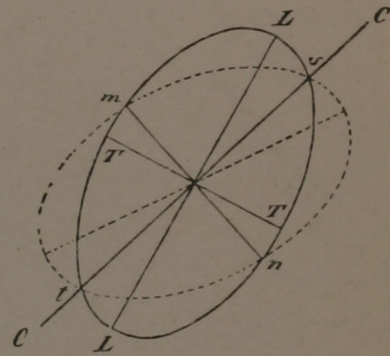
Die Folgerungen, die sich aus den 13 möglichen Combinationen ziehen lassen, ordnen sich naturgemäss in zwei Reihen. Die erste Reihe enthält diejenigen Fälle, wo eine der drei Axen des Ellipsoids der Cylinderaxe parallel geht; die zweite umfasst alle übrigen mit beliebig schiefer Stellung der tangentialen Axen. Beide Reihen sind in nachstehender Uebersicht, der bequemern Vergleichung wegen, mit der Combinationsreihe zusammengestellt. Die dabei angewandten Bezeichnungen haben folgende Bedeutung: \pm positiv oder negativ, d. h. unentschieden ob das eine oder das andere; Axenebene = Ebene der optischen Axen; tangential = einer an die Cylinderoberfläche gelegten Tangentialebene parallel; radial = in der durch den Radius und die Longitudinalaxe (*L*) gelegten Ebene; transversal = in einer auf der Axe *L* senkrechten Ebene; *L* = Longitudinalaxe, d. h. Axe des Elasticitätsellipsoids, welche in der ersten Reihe der Cylinderaxe parallel geht und in der zweiten Reihe weniger als 45° gegen dieselbe geneigt ist; *T* = Tangentialaxe, d. h. die Axe des Ellipsoids, welche auf der durch *L* und den Cylinderradius gelegten Ebene senkrecht steht; *R* = Radialaxe.

Combination				Optischer Charakter der Cylinderelemente	
Nr.	Mitte	Rand	Querschn.	Erste Reihe:	Zweite Reihe:
				<i>L</i> geht parallel der Cylinderaxe	<i>L</i> steht schief, Neigung $< 45^\circ$
1.	<i>l</i>	<i>l</i>	<i>l</i>	Zweiaxig \pm , Axenebene tangent. <i>L</i> grösste, <i>T</i> kleinste Elast.-Axe	Zweiaxig \pm , Axenebene tangent. <i>L</i> grösste, <i>T</i> kleinste Elast.-Axe

Combination				Optischer Charakter der Cylinderelemente	
Nr.	Mitte	Rand	Querschn.	Erste Reihe: <i>L</i> geht parallel der Cylinderaxe	Zweite Reihe: <i>L</i> steht schief, Neigung $< 45^0$
2.	<i>q</i>	<i>q</i>	<i>q</i>	Zweiachsig \pm , Axenebene tang. <i>T</i> grösste, <i>L</i> kleinste Axe	Zweiachsig \pm , Axenebene tang. <i>T</i> grösste, <i>L</i> kleinste Axe
3.	<i>l</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	Zweiachsig \pm , Axenebene rad. <i>L</i> grösste, <i>R</i> kleinste Axe	Zweiachsig \pm , Axenebene radial <i>L</i> grösste, <i>R</i> kleinste Axe. Oder zweiachsig $+$, Axenebene tangential. <i>L</i> grösste, <i>T</i> kleinste Axe. Oder einachsig $+$ <i>L</i> = opt. Axe
4.	<i>q</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	Zweiachsig \pm , Axenebene rad. <i>R</i> grösste, <i>L</i> kleinste Axe	Zweiachsig \pm , Axenebene radial <i>R</i> grösste, <i>L</i> kleinste Axe. Oder zweiachsig $-$, Axenebene tangential. <i>T</i> grösste, <i>L</i> kleinste Axe. Oder einachsig $-$ <i>L</i> = opt. Axe
5.	<i>l</i>	<i>q</i>	<i>l</i>	Zweiachsig \pm , Axenebene transv. <i>R</i> grösste, <i>T</i> kleinste Axe	Zweiachsig \pm , Axenebene transv. <i>R</i> grösste, <i>T</i> kleinste Axe. Oder zweiachsig $-$, Axenebene tang. <i>L</i> grösste, <i>T</i> kleinste Axe. Oder einachsig $-$ <i>T</i> = opt. Axe
6.	<i>q</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	Zweiachsig \pm , Axenebene transv. <i>T</i> grösste, <i>R</i> kleinste Axe	Zweiachsig \pm , Axenebene transv. <i>T</i> grösste, <i>R</i> kleinste Axe. Oder zweiachsig $+$, Axenebene tang. <i>T</i> grösste, <i>L</i> kleinste Axe. Oder einachsig $+$ <i>T</i> = opt. Axe
7.	<i>l</i>	<i>l</i>	<i>o</i>	Einachsig $+$ <i>L</i> = opt. Axe	Zweiachsig $+$, Axenebene tang. <i>L</i> grösste, <i>T</i> kleinste Axe
8.	<i>q</i>	<i>q</i>	<i>o</i>	Einachsig $-$ <i>L</i> = opt. Axe	Zweiachsig $-$, Axenebene tang. <i>T</i> grösste, <i>L</i> kleinste Axe
9.	<i>l</i>	<i>o</i>	<i>l</i>	Einachsig $-$ <i>T</i> = opt. Axe	Zweiachsig $-$, Axenebene tang. <i>L</i> grösste, <i>T</i> kleinste Axe
10.	<i>q</i>	<i>o</i>	<i>q</i>	Einachsig $+$ <i>T</i> = opt. Axe	Zweiachsig $+$ <i>T</i> grösste, <i>L</i> kleinste Axe
11.	<i>o</i>	<i>l</i>	<i>q</i>	Einachsig $-$ <i>R</i> = opt. Axe	Zweiachsig $+$, Axenebene tang. <i>L</i> und <i>T</i> = 45^0 geneigt. Oder zweiachsig \pm , Axenebene radial <i>R</i> kleinste Axe. Oder einachsig $+$, opt. Axe tangential und 45^0 geneigt
12.	<i>q</i>	<i>o</i>	<i>l</i>	Einachsig $+$ <i>R</i> = opt. Axe	Zweiachsig $-$, Axenebene tang. <i>L</i> und <i>T</i> = 45^0 geneigt. Oder zweiachsig \pm , Axenebene radial <i>R</i> grösste Axe. Oder einachsig $-$, opt. Axe tangential und 45^0 geneigt
13.	<i>o</i>	<i>o</i>	<i>o</i>	Einfachbrechend	Zweiachsig neutral, Axenebene tang. <i>L</i> und <i>T</i> = 45^0 geneigt.

Die Ableitung der in vorstehender Uebersicht zusammengestellten Fol- **340**
gerungen aus den durch Beobachtung bestimmten Stellungen der Elasticitätsellipsen ist ungemein einfach und bedarf eigentlich für Leser, die sich die gegebenen Verhältnisse klar vorstellen oder vielleicht durch Modelle oder Figuren versinnlichen, keiner Erörterung. Jedenfalls wird es vollständig genügen, wenn wir den Weg, den man dabei einzuschlagen hat, an einem Beispiele zur Anschauung bringen.

Die beobachtete Combination sei *lll* (die erste in unserer Reihe) und die Längsaxe *L* des Ellipsoids sei schief gegen die Cylinderaxe gestellt. Dann ist der Winkel, welchen die Axe *L* mit der Cylinderaxe bildet, durch die sich kreuzenden Ellipsen, welche in der Mitte des liegenden Cylinders wirksam werden, in seinem Grenzwerthe bestimmt, d. h. er ist in unserem Falle jedenfalls kleiner als 45° . Diese Ellipsen haben also beispielsweise die in Fig. 205 dargestellte Orientirung, wenn nämlich *CC* der Cylinderaxe parallel geht. Man hat folglich $st > mn$ und *LL* grösser als *TT*. Die Durchmesser *mn* und *st*, welche der Quer- und Längsrichtung des Cylinders entsprechen, stellen aber offenbar je eine Axe der Ellipsen dar, die auf dem Querschnitt und am Rande des liegenden Cylinders zur Wirkung kommen; *mn* ist die tangentiale Axe der Querschnittsellipse, *st* die längsgestellte der Randansicht. Aus der Form dieser Ellipsen, wie sie durch die Combination *lll* bestimmt ist, ergibt sich aber, dass die radiale Axe *R* des Ellipsoids grösser als *mn* und kleiner als *st* ist; sie kann also nur die mittlere Axe desselben sein. Die Elemente sind also zweiachsig und die optischen Axen liegen in einer tangentialen Ebene. Das Verhältniss der Axe *R* zu den beiden andern und die davon abhängige Lage der Kreischnitte bleiben jedoch unbestimmt, die positive oder negative Natur der Elemente also zweifelhaft.

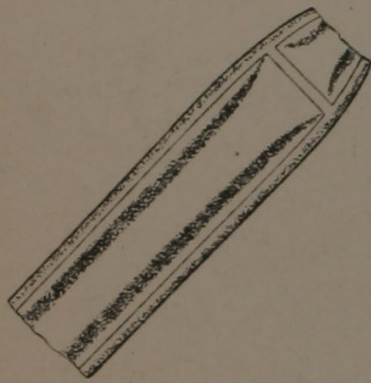


Figur 205.

Von den dreizehn oben zusammengestellten Combinationen verdienen **341**
einzelne wegen des optischen Effectes, den sie hervorrufen, nachträglich noch eine besondere Betrachtung. Wir heben zunächst den Fall hervor, der in den Combinationen 5 und 6 in unserer Reihe gegeben ist, dass nämlich Rand und Mitte des liegenden Cylinders Farben von entgegengesetztem Charakter hervorrufen. Dieser Fall charakterisirt sich bei der Beobachtung mit Gypsplättchen augenblicklich durch die neutralen Längsstreifen, welche den Uebergang zwischen den entgegengesetzten Farben der Rand- und Flächenansicht vermitteln und welche daher ohne Gypsplättchen als dunkle Linien erscheinen (Fig. 206). Diese Linien entsprechen den Stellen, wo die resultirende Elasticitätsellipse der Flächenansicht, welche natürlich nach beiden Seiten hin allmählig in die entgegengesetzt

orientirte des Randes übergeht, die Form des Kreises erreicht hat, wo also die übereinander liegenden Ellipsen der zu- und abgekehrten Cylinderhälfte sich rechtwinklig kreuzen. Eine rechtwinklige Kreuzung setzt aber, der symmetrischen Lage wegen, voraus, dass beide Ellipsen unter 45° gegen die Cylinderaxe geneigt seien.

Man könnte nun, wenn man die Sache vom rein geometrischen Standpunct aus betrachtet, auf den Gedanken kommen, aus dem bekannten Abstände der neutralen Linien vom Rande den unbekannten Winkel e zu bestimmen, welchen die übereinander liegenden Ellipsen in der Medianzone bilden; denn es ist einleuchtend, dass die erwähnte Neigung von 45° in um



Figur 206.

so grösserer Entfernung von der Mittellinie erreicht wird, je mehr die Neigung auf der Mittellinie davon abweicht. Allein da jede Schicht im Cylinder ihre eigene neutrale Linie hat, welche gegen die der anliegenden Schichten seitlich verschoben und von der Interferenzfarbe derselben mehr oder minder erhellt erscheint, so fällt der Gesamteffect nicht bestimmt genug aus, um bei der Kleinheit der Objecte, die wir hier im Auge haben, in der angedeuteten Weise practisch verwerthbar zu

sein. Dasselbe gilt auch von der Bestimmung der optischen Axen, im Falle $e = 0$. Es mag daher genügen, auf die diessfalls bestehenden, ohnehin ziemlich verwickelten Beziehungen hier nur ganz im Allgemeinen aufmerksam gemacht zu haben.

Die neutralen Längsstreifen treten am schönsten an dünnwandigen hohlcylindrischen Zellen, welche das Licht stark brechen, hervor; doch fallen sie auch bei stärkerer Verdickung noch ziemlich deutlich in die Augen. Wir beobachteten dieselben namentlich an vegetabilischen Haaren (z. B. von *Stachys*), aber auch die Gewebezellen liefern hin und wieder hieher gehörige Beispiele.

Einen zweiten Fall, der gewissermaassen das Gegenstück des vorhergehenden bildet, liefert die Combination 13. Hier erscheinen am liegenden Cylinder Rand und Mitte neutral; der erstere, weil eine optische Axe senkrecht steht, die letztere, weil die beiden übereinander liegenden Ellipsen sich rechtwinklig kreuzen. Mit der Entfernung von der Mittellinie nehmen aber diese Ellipsen eine mehr aufrechte Lage an; sie schneiden sich jetzt spitzwinklig und bringen daher eine Wirkung hervor, welche der Stellung l auf der Mittellinie entspricht. Gegen den Rand zu wird jedoch diese Wirkung wieder allmählig aufgehoben, weil die Differenz zwischen der grossen und kleinen Axe der Ellipsen immer kleiner und am Rande selbst Null wird. Wir erhalten also zwei durch Interferenzfarben erleuchtete

Streifen zu beiden Seiten der Mittellinie, indess diese letztere und die beiden Ränder sich neutral verhalten.

Wenn wir uns jetzt die Aufgabe stellen, die mancherlei Alternativen, **342** die in obiger Zusammenstellung figuriren, wo möglich auf eine kleinere Zahl zurückzuführen, so liegt wohl die Frage am nächsten, ob vielleicht die Richtung der optischen Axen sich experimentell bestimmen lasse. Theoretisch betrachtet ist die Sache, wie man leicht einsieht, ungemein einfach. Man hat nur nöthig, durch Neigen des Querschnittes nach verschiedenen Seiten die beiden Stellungen zu ermitteln, in welchen das Object wie ein einfach brechendes Medium wirkt, die optischen Axen also genau senkrecht stehen. Ebenso muss sich beim Neigen des liegenden Cylinders herausstellen, ob die optischen Axen in einer tangentialen Ebene liegen oder nicht; denn wo jenes der Fall, müssen die Ränder bei einer bestimmten Neigung, welche der senkrechten Stellung einer optischen Axe entspricht, sich nothwendig neutral verhalten.

Für die Praxis haben nun aber diese Regeln einen sehr untergeordneten Werth, aus dem einfachen Grunde, weil die Beobachtung nicht mit jener Sicherheit möglich ist, die man a priori erwarten möchte. Die Querschnitte sind in den meisten Fällen fast gar nicht zu gebrauchen, und auch die Randansichten geben häufig genug einen sehr zweifelhaften Effect. Dazu kommt, dass diese letzteren nur unter den günstigsten Verhältnissen die Anhaltspuncte bieten, die zur Bestimmung der Axenlage erforderlich sind. Da nämlich die Neigung des Elasticitätsellipsoids, resp. seiner Längsaxe L zur Cylinderaxe im Allgemeinen unbekannt ist, so bleibt die positive oder negative Natur der Cylinderelemente zweifelhaft, wofern nicht der Winkel, den die optischen Axen mit einander bilden, annähernd gemessen oder das Vorhandensein einer einzigen optischen Axe nachgewiesen werden kann. Die wenigen Regeln, die sich mit Rücksicht auf das Verhalten der Ränder beim Neigen practisch verwerthen lassen, sind in folgenden Sätzen enthalten.

1) Ist es möglich, die Richtung der optischen Axen in der Tangentialebene zu ermitteln, so ist damit auch der Winkel, den sie mit den Elasticitätsaxen bilden, und folglich auch die Neigung dieser letztern zur Cylinderaxe bestimmt. — Beispiel: Die Mitte des liegenden Cylinders giebt eine Farbe, welche der Stellung l entspricht; der rechte Rand wird beim Neigen nach der einen Seite, wobei das vom Beobachter entferntere Ende sich senkt und das nähere sich hebt, nach einer Drehung von 40° neutral, beim Drehen nach der entgegengesetzten Seite hin dagegen bei 20° ; der linke Rand verhält sich umgekehrt. Die Cylinderelemente sind alsdann negativ, der Axenwinkel ist 60° , und die Längsaxe L des Ellipsoids ist in der Richtung einer (nach botanischer Terminologie) linkswendigen Spirale um 40° gegen die Cylinderaxe geneigt.

2) Die Mitte des liegenden Cylinders gebe dieselbe Farbe wie im vor-

hergehenden Beispiel. Wird alsdann beim Neigen bis zu 45° weder der eine noch der andere Rand neutral, so sind die Cylinder-elemente optisch positiv.

5) Die Mitte des liegenden Cylinders gebe die Farbe der Stellung q . Wird alsdann beim Neigen bis zu 45° weder der eine noch der andere Rand neutral, so sind die Cylinder-elemente optisch negativ.

343 In zwei speziellen Fällen muss sich auch die Mitte des liegenden Cylinders bei einer bestimmten Neigung neutral verhalten. Der eine Fall tritt ein, wenn die horizontale Lage eine Farbe hervorruft, welche der Stellung l entspricht, und wenn überdiess die radiale Axe des Ellipsoids die kleinste ist. In diesem Falle bedingt nämlich das Neigen des Cylinders eine allmähliche Annäherung der wirksamen Elasticitätsellipsen zur Querstellung, die sie nach einer Drehung von 90° auch erreichen würden. Diese Ellipsen müssen daher bei einer bestimmten Neigung genau 45° von der Längsrichtung des Cylinders abweichen und sich folglich rechtwinklig kreuzen. Ihre Wirkungen heben sich alsdann gegenseitig auf: die Mitte verhält sich neutral. — Der zweite Fall ist diesem ersten analog; er tritt ein, wenn die Farbe der horizontalen Lage der Stellung q entspricht, und wenn überdiess die radiale Axe des Ellipsoids die grösste ist. In diesem Falle nähern sich die beiden Ellipsen beim Neigen des Cylinders der Längsstellung und erreichen also ebenfalls eine Lage, wo sie sich rechtwinklig schneiden und in ihren Wirkungen aufheben. — Die Bedingungen der Neutralität sind übrigens in beiden Fällen auch dann noch gegeben, wenn die radiale Axe der mittlern gleich angenommen und damit die einaxige Beschaffenheit der Elemente vorausgesetzt wird.

Die Anwendung dieser Beziehungen auf die Combinationen 3 und 4 in obiger Uebersicht, welche allein den vorgeschriebenen Bedingungen Genüge leisten, giebt uns ein Mittel an die Hand, entweder die erste und dritte, oder aber die zweite der dort angeführten Möglichkeiten auszuschliessen.

2. Kugelige und ovale Objecte.

344 Hier ist zu allernächst zu bemerken, dass obige Benennungen sich nur auf Objecte beziehen, deren doppelbrechende Elemente in mehr oder weniger concentrischen Schichten um einen Mittelpunkt gruppiert sind, wo also zwischen der äussern Form und dem innern Bau eine gewisse Uebereinstimmung besteht. Kugeln, die aus einem Krystall oder einem Cylinder geschnitten würden, müssten sich natürlich gerade so verhalten, wie diese Objecte selbst, und bedürfen somit keiner besondern Betrachtung.

Die Möglichkeiten, welche bei geschichtetem Bau mit Rücksicht auf das optische Verhalten der Objecte denkbar sind, zerfallen bei näherer Prüfung der Verhältnisse in zwei Kategorien, die sich beim Drehen des Objects während der Beobachtung immer leicht unterscheiden lassen. Ent-

weder behalten die Polarisationsfarben in allen möglichen Ansichten, die man beim Drehen erhält, denselben Charakter und dieselbe Anordnung, d. h. man beobachtet immer dieselbe Stellung der neutralen Linien, der Additions- und der Subtractionsquadranten. Oder diese Uebereinstimmung der verschiedenen Ansichten findet nicht statt: das Bild zeigt beim Drehen des Objects einen sehr augenfälligen Wechsel der Erscheinungen, welcher nur dann unterbleibt, wenn zufällig die Drehungsaxe mit einem bestimmten Durchmesser des Objects, der von den andern ausgezeichnet ist, zusammenfällt.

Man sieht leicht ein, dass bei Objecten der erstern Art die doppelbrechenden Elemente hinsichtlich der Lage ihrer Elasticitätsaxen um jeden Radius und somit um jeden Punct der Oberfläche symmetrisch gestellt sein müssen, während im letztern Falle eine solche Symmetrie, ähnlich wie bei einem Cylinder, nur mit Bezug auf jene ausgezeichnete Richtung, die man als Axe bezeichnen kann, indicirt ist. Das Drehen der Objecte unter dem Mikroskop giebt also Aufschluss darüber, ob dieselben als Kugeln mit gleichwerthigen Durchmessern oder aber als Körper mit einer bevorzugten Richtung (Axe) zu betrachten sind.

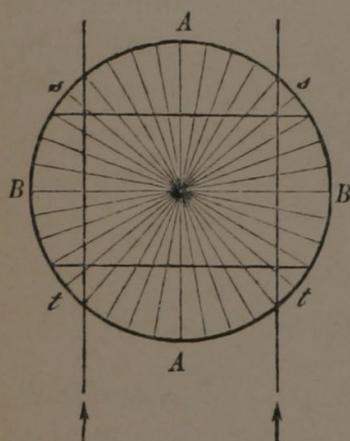
a) Objecte mit gleichen Durchmessern.

Die Stellung des neutralen Kreuzes zu den Polarisationsprismen **345** entscheidet hier zunächst die Frage, ob eine der drei Elasticitätsaxen der doppelbrechenden Elemente radial gestellt sei oder wenigstens in einer bestimmten Beziehung zum Radius stehe; oder aber nicht; denn im erstern Falle entsprechen die neutralen Linien den Polarisationssebenen der Prismen, während sie im letztern dieselben schiefwinklig schneiden. — Streng genommen ist übrigens dieser letztere Fall mit der Gleichwerthigkeit der Durchmesser und mit der dadurch bedingten unveränderlichen Lage des neutralen Kreuzes nicht vereinbar. So oft nämlich die Elasticitätsaxen schiefwinklig gegen die Schichten oder den Radius gestellt sind, erheischt die Gleichwerthigkeit der Durchmesser alle möglichen Orientirungen in der tangentialen Ebene, d. h. die doppelbrechenden Elemente müssen alle die Stellungen einnehmen, welche ein einzelnes Element beim Drehen um einen radialen Durchmesser nacheinander einnimmt: die neutrale Linie fällt also mit der Axe des Kegels, den das Element während der Drehung beschreibt, in dieselbe Verticalebene. — Wären die Elasticitätsaxen ganz beliebig nach allen Richtungen im Raume orientirt, die verschiedenen Stellungen also gleich häufig vertreten, dann müsste die Kugel wie eine einfach brechende Substanz wirken, und jede weitere Untersuchung wäre zwecklos.

Eine bestimmte Beziehung der Elasticitätsaxen zum Radius ist also schon durch das blosse Vorhandensein von Interferenzfarben indicirt: eine

der Axen muss bei der vorwiegenden Zahl der Elemente mit dem Radius einen Winkel bilden, der gleich Null oder doch kleiner als 45° ist. Für unsere weitem Betrachtungen schliessen wir jedoch diesen letztern Fall vollständig aus; wir nehmen auch hier wie beim Cylinder und bei einzelnen Membranlamellen an, die doppelbrechenden Elemente seien durchgehend übereinstimmend gelagert, die Elasticitätsaxen folglich in allen Punkten des Objects so gestellt, dass eine derselben mit dem Radius zusammenfällt, indess die beiden andern in einer tangentialen Ebene, d. h. in der Ebene der Schichtenfläche liegen.

Unter dieser Voraussetzung verhält sich die Kugel in jeder beliebigen Lage, wenigstens in ihren Randpartieen, wie eine mittlere Lamelle *BB* (Fig. 207), die man sich aus derselben herausgeschnitten denkt, oder auch

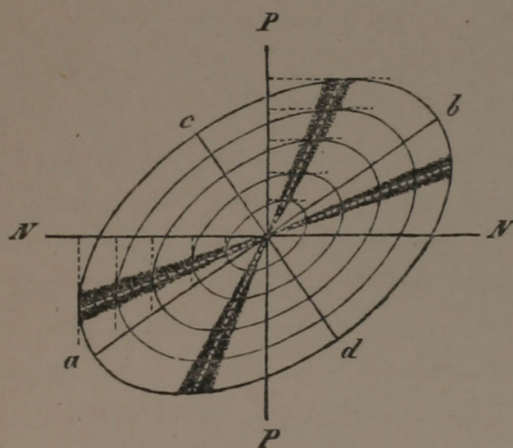


Figur 207.

wie ein Querschnitt durch den Cylinder. Denn es lässt sich leicht nachweisen, dass die zugekehrte und die abgekehrte Kugelcalotte stets in gleichem Sinne wirken, wie das abgebildete Mittelstück, dass sie also den Effect desselben nur verstärken, nicht verändern. Bei einaxigen Elementen mit radial gestellter optischer Axe ist diess ohne Weiteres einleuchtend. Bei zweiaxigen gelangt man zu demselben Resultat, wenn man erwägt, dass die tangentialen Elasticitätsaxen beliebig orientirt sind und daher auf den durchgehenden Lichtstrahl mit einem Werthe wirken, der zwischen der kürzern und der längern Axe die Mitte hält. Der Effect der übereinander

liegenden Elemente ist offenbar der nämliche, wie wenn dieselben bei gleicher Orientirung der tangentialen Axen in rascher Drehung um ihre radiale Axe begriffen wären, und somit auch derselbe wie bei einaxigen Elementen mit radial gestellter optischer Axe.

346



Figur 208.

Das Bild, welches ein kugeliges Object im polarisirten Licht gewährt, entscheidet hienach die Frage, ob die radiale Axe des Elasticitätsellipsoids grösser oder kleiner sei als der mittlere Werth der beiden tangentialen; es lässt aber unentschieden, ob die Elemente ein- oder zweiaxig seien. Wird das Letztere angenommen, so bleibt ferner zweifelhaft, ob die radiale Axe die mittlere, oder je nach dem Farbencharakter die grösste oder

die kleinste sei, d. h. es bleibt zweifelhaft, ob die optischen Axen in einer tangentialen oder in einer diametralen Ebene liegen.

Das neutrale Kreuz, welches die Additions- und Subtractionsquadranten von einander trennt, verhält sich genau so, wie bei Cylinderquerschnitten. Es erscheint rechtwinklig, wenn die durch das Schichtencentrum gelegten Polarisations Ebenen der Nicols die Schichten selbst rechtwinklig schneiden, im entgegengesetzten Falle dagegen schiefwinklig. Bei kreisförmig verlaufenden Schichten ist das Erstere natürlich immer der Fall, bei elliptisch verlaufenden nur dann, wenn die Axen der Ellipsen in die gedachten Polarisations Ebenen fallen. In jeder andern Stellung bilden die neutralen Linien schiefe Winkel, und wenn das Verhältniss der Axen nicht constant bleibt, so erscheinen sie überdiess mehr oder weniger gekrümmt. Sind z. B. PP und NN (Fig. 208) die Schwingungsebenen der Nicols, und ab und cd die Axen der elliptischen Schichten, so müssen die neutralen Linien den in der Figur dargestellten Verlauf zeigen; sie verbinden die Berührungspunkte der von PP und NN rechtwinklig abgehenden Tangenten. *)

b) Objecte mit einer Axe.

Die doppelbrechenden Elemente sind hier um einen bestimmten Durch- 347
messer, statt um ein Centrum, gruppirt. Nimmt man an, die Gruppierung sei eine durchgehends gleichmässige, so z. B. dass die Axen des Elasticitätsellipsoids mit dem Radius und dem Meridiankreis, die sich in seinem Mittelpunkt schneiden, überall dieselben Winkel bilden, dann verhält sich ein solches Object im Wesentlichen wie ein Cylinder. Es erzeugt bei horizontaler Stellung der Axe, wenigstens in einer mittlern Querzone, die man als Aequatorialzone bezeichnen kann, die Farben des liegenden Cylinders, und bei senkrechter Stellung der Axe, wenn auch nur im peripherischen Theile, die Farben des Cylinderquerschnitts. Die Deutung des beobachteten Effectes kann daher in gleicher Weise geschehen, wie beim Cylinder. Wir bemerken übrigens, dass bis jetzt keine Objecte bekannt sind, welche in diese Kategorie gehören.

*) Dass die neutralen Linien in einem System ähnlicher Ellipsen, wo also das Verhältniss der kleinen Axe zur grossen dasselbe bleibt, gerade Linien sind, folgt unmittelbar aus der relativ gleichen Grösse der Ordinaten und Abscissen für die Berührungspunkte der Tangenten. Man sieht übrigens, dass die neutralen Linien in unserer Figur mit den in die Polarisations Ebenen PP und NN fallenden Durchmessern zwei Paare von conjugirten Diametern darstellen, und sich folglich unter Winkeln schneiden, welche innerhalb gewisser Grenzen variiren. — Die Construction der neutralen Linien für ein beliebiges System von ovalen Schichten unterliegt nach dem Gesagten keiner Schwierigkeit; man hat nur nöthig, die Tangenten zu ziehen und deren Berührungspunkte zu verbinden.

V.

Ueber einige Eigenthümlichkeiten des Baues organisirter Substanzen.

348 In den vorhergehenden Erörterungen ist durchgehends die Voraussetzung festgehalten, dass die Orientirung der Elasticitätsellipsen in allen Puncten der Substanz dem Effecte entspreche, den die übereinander liegenden Elemente hervorbringen. Wir haben angenommen, dass die doppelbrechenden Elemente, aus welchen die Schichten einer Membran, eines cylindrischen oder kugelförmigen Objects zusammengesetzt sind, überall dieselbe gesetzmässige Anordnung zeigen, und auf Grund dieser Annahme gefunden, dass eine Elasticitätsaxe stets radial, die beiden andern tangential gestellt seien. Wir haben sodann die Richtung der letztern nach dem Effecte bestimmt, den die Flächenansichten hervorrufen, oder sie unbestimmt gelassen, wenn diese Ansichten neutral wirkten.

Dieses Verfahren wäre bei krystallinischen Medien mit entsprechender Anordnung der kleinsten Theilchen selbstverständlich; bei organisirten ist es immerhin plausibel, aber es verdient hervorgehoben zu werden, dass eine absolute Nöthigung für die Annahme eines so regelmässigen Baues hier nicht besteht. Die organisirten Substanzen verhalten sich nämlich in wesentlichen Puncten anders als die nicht organisirten; ihr optischer Charakter ist nicht, wie bei diesen, von den Distanzveränderungen abhängig, welche die kleinsten Theilchen durch Druck oder Zug oder auch durch Quellungsmittel erfahren; er bleibt constant, selbst wenn die Veränderungen ein Vielfaches der ursprünglichen Entfernungen betragen. Man kann ein Haar, eine Bastfaser u. dgl. nach Belieben strecken oder krümmen, ohne deren Farbencharakter zu ändern, während beispielsweise eine feine Glasröhre schon bei geringer Krümmung die Farbe hervorruft, welche der dadurch bedingten Distanzveränderung ihrer Atome entspricht. Ebenso wenig bewirkt die Quellung eines Membranstückes in Schwefelsäure oder Kupferoxydammoniak, wobei vielleicht die Dicke auf das Fünffache steigt, indess Länge und Breite nur wenig zunehmen, eine wesentliche Veränderung der optischen Eigenschaften. Daraus folgt aber, dass diese letztern in jenen Molecülgruppen, die wir nunmehr als Micellen bezeichnen, ihren Sitz haben, dagegen mit der Entfernung derselben von einander und mit den Spannungen, die sich allfällig zwischen ihnen entwickeln, in keinem Zusammenhange stehen. Jedes einzelne Micell wirkt wie ein kleiner Krystall, und wenn sich die Wirkungen addiren, so steigt die resultirende Interferenzfarbe um so höher, je grösser die Zahl, die der durchgehende Lichtstrahl zu passiren hat, und wird dabei um so intensiver, je grösser diejenige, die auf die Flächeneinheit des mikroskopischen Bildes kommt.

Da nun die organisirten Substanzen, wie wir weiterhin darlegen wer-

den, aus einem Gemenge verschiedener Verbindungen bestehen, die sich gegenseitig durchdringen und wovon vielleicht jede ihre besondern Micellen bildet, die möglicher Weise auch abweichend orientirt sind; da ferner das Mischungsverhältniss dieser Verbindungen in den verschiedenen Schichten nachweisbar ungleich ist und überdiess die Nothwendigkeit einer immer gleichen Orientirung bei der Einlagerung neuer Micellen zwischen schon vorhandene selbst bei gleichartiger Beschaffenheit nicht besteht oder wenigstens nicht bewiesen ist: so erfährt der durchgehende Lichtstrahl voraussichtlich die Wirkung verschieden orientirter Elemente, und die Ellipse, welche dem beobachteten Effecte entspricht, kann streng genommen nur als eine eingebil-dete oder resultirende gedeutet werden, welche mit Rücksicht auf Form und Stellung zwischen den wirklichen Ellipsen, die auf den Lichtstrahl einwirken, die Mitte hält. Es ist z. B. völlig gleichgültig, ob eine Axe der Elasticitätsellipse durchgehends radial gestellt sei, oder ob sie in den übereinander liegenden Elementen, wenn die Zahl derselben unendlich gross ist, beispielsweise alle möglichen Abweichungen zwischen 0 und 30^0 nach der einen und andern Seite hin-darbiere; der Effect ist in beiden Fällen derselbe. Ebenso wenig kommt dabei in Betracht, ob die hintereinander liegenden Micellen der nämlichen radialen Reihe gleich oder ungleich orientirt seien, wofern nur die übereinander liegenden Reihen die eben erwähnten Abweichungen zeigen. Man kann sich überhaupt eine ganz beliebige Anordnung der doppelbrechenden Elemente denken, wenn nur gewisse Stellungen, welche zusammen den beobachteten Effect hervorbringen, vorwiegend vertreten sind.

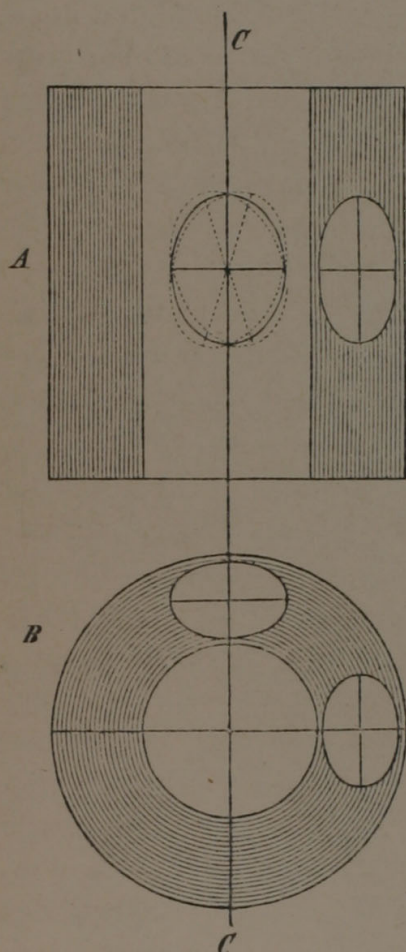
Eine weitere Eigenthümlichkeit, die mit dem innern Baue und mit der **349** Wachstumsweise der organisirten Substanzen zusammenhängt, ist der ungleiche Wassergehalt der dichten und weichen Schichten und die dadurch bedingte Ungleichheit der doppelbrechenden Kraft. Es ist in Folge dessen unzulässig, Querschnitte und Flächenansichten hinsichtlich ihrer doppelbrechenden Kraft mit einander zu vergleichen, in der Absicht, aus den Farben, die sie hervorrufen, die relative Excentricität der wirksamen Elasticitätsellipsen zu erschliessen. Wenn z. B. eine 6 Mik. dicke Membran in der Flächenansicht mit einem Gypsplättchen Roth I die Additionsfarbe Blau II giebt, indess ein Querschnitt schon bei 4 Mik. Dicke dieselbe Wirkung hervorbringt, so folgt daraus nicht, dass die Elasticitätsellipse des Querschnitts eine im Verhältniss grössere oder überhaupt eine grössere Excentricität besitze als die der Flächenansicht; denn bei letzterer bilden die wirksameren dichten Schichten nur einen Bruchtheil der Gesamtdicke, während sie im Querschnitt continuirlich von einer Schnittfläche zur andern verlaufen. Eine Vergleichung im angegebenen Sinne ist daher nur zwischen den verschiedenen tangentialen Richtungen statthaft, wie sie auf Quer-, Längs- oder beliebig schiefen Schnitten, wenn sie durch einen Radius gehen, zur Wirkung kommen.

Dass Flächenansichten von Membranen, deren Schichten auf dem Querschnitt Farben von entgegengesetztem Charakter hervorrufen, eine Deutung nach den früher angegebenen Regeln nicht gestatten, sobald mehr als zwei solche Schichten übereinander liegen, ist an und für sich klar.

VI.

Zusammenstellung von Beispielen.

350 Alle bis jetzt untersuchten organisirten Gebilde stimmen darin überein, dass eine der drei Elasticitätsaxen radial gestellt ist. Die beiden in der



Figur 209.

Tangentialebene liegenden Axen zeigen dagegen die verschiedensten Orientirungen; bald entsprechen sie der Längs- und Querrichtung der Zelle oder Faser, bald schneiden sie diese Richtungen unter verschiedenen Winkeln. Wir bezeichnen nachstehend mit Linksdrehung oder Rechtsdrehung die Stellungen, in welchen die längere der beiden tangentialen Axen beziehlich in der Richtung einer linksläufigen oder rechtsläufigen Spirale (nach botanischer Terminologie) dahingeht*). Der Winkel, welchen die Spiralwindungen mit der Längsaxe bilden, heisse φ . — Betreffend die Orientirung der Ellipsen im Querschnitt, auf diametralen Längsschnitten oder Randansichten und auf Flächenansichten cylindrischer Gebilde, so gebrauchen wir eine Bezeichnung, welche im Princip mit der oben (pag. 345) angewandten übereinstimmt, jedoch insofern davon abweicht, als sie für Quer- und Längsschnitte (und bei kugeligen Objecten für beliebige Durchschnittsansichten) auf die Beziehung zum Schichtenverlauf, nicht zum

Durchmesser, basirt ist. Wir bezeichnen hienach mit p (parallel) und mit t (transversal) die Stellungen der Elasticitätsellipsen, in welchen die grossen

*) Eine gewöhnliche Schraube besitzt nach botanischer Terminologie linksläufige Windungen, während sie in der Mechanik rechtswendig genannt wird.

Axen derselben beziehlich in der Richtung der Schichten verlaufen oder dieselben rechtwinklig schneiden. Diese Beziehung zum Schichtenverlauf ist übrigens nicht willkürlich gewählt, sondern der Natur selbst abgelauscht, indem die Ellipsen der bekannten Objecte auf Längs- und Querschnitten fast ausnahmslos dieselbe Stellung zur Schichtung zeigen. Die in Fig. 209 dargestellte Orientirung der Ellipsen würde also beispielsweise folgendermaassen bezeichnet: Querschnitt p , Rand p , Fläche p . Wo statt der Randansicht diametrale Längsschnitte untersucht wurden, ist dementsprechend auch die Bezeichnung »Längsschnitt« statt »Rand« gewählt. Die beiden orthogonalen Stellungen des Objects, welche nach Früherem zur Unterscheidung der Consecutiv- und Alternativlage dienen, sind durch quergestellte (=) oder aufrechte (||) Striche unterschieden, wobei natürlich durchgehends dieselbe Orientirung der Gypsplättchen und die gewöhnliche, diesen Strichen entsprechende Stellung der Polarisationsprismen vorausgesetzt ist. — Da die optischen Axen stets in die Ebene der grössten und kleinsten Elasticitätsaxe fallen, so war es überflüssig, die Lage der Axenebene noch besonders zu bezeichnen. Dagegen ist bei den wenigen Objecten, welche die nöthigen Data geliefert haben, die positive oder negative Beschaffenheit angegeben.

Das Elasticitätsellipsoid, auf das sich unsere Angaben beziehen, hat bei gleichgerichteten Axen eine andere Lage, als nach der gewöhnlichen Annahme; es ist mit Rücksicht hierauf ein um 90° gedrehtes oder reciprokes Ellipsoid, indem die kleinste Axe desselben die Stelle der grössten nach gewöhnlicher Darstellung einnimmt, und umgekehrt. (Vgl. hierüber pag. 346.)

A. Cylindrische Objecte.

* Eine tangentiale Axe verläuft parallel zur Cylinderaxe.

Caulerpa prolifera Lamourx. Stämmchen. Querschnitt t ; Längsschnitt t ; Fläche zweifelhaft, am nämlichen Membranstück stellenweise t , an andern Stellen p . Hieraus: grosse Axe radial. Nach dem Verhalten beim Drehen zwei-axig-positiv.

Chamaedoris annulata Mont. Querschnitt p , Längsschnitt p , Fläche p . Hieraus: grosse Axe longitudinal, kleine radial, mittlere quer-tangential. Wahrscheinlich optisch negativ; wegen der Unebenheit der Membranfläche nicht mit Sicherheit beobachtet.

Acetabularia mediterranea Lamourx. Stiel. Verhält sich wie *Chamaedoris annulata*.

Valonia Aegagropila Ag. Querschnitt p , Längsschnitt p , Fläche t . Hieraus: grosse Axe quer-tangential, kleine radial, mittlere longitudinal. Optisch positiv; Winkel der optischen Axen c. 80° .

* * Die tangentialen Axen stehen schief zur Cylinderaxe.

Stachys spec. Dünnwandige Haare des Stengels. Erzeugen neutrale Längsstreifen in der Nähe des Randes. Die orthogonale Stellung = erweist sich als consecutive, die darauf rechtwinklige \parallel als alternative; folglich Linksdrehung. Winkel φ nach Messungen an halbirtten Haaren c. 17° , Linksdrehung bestätigt. In Uebereinstimmung mit Vorstehendem hat man: Querschnitt t , Rand t , Fläche p . Hieraus: kleinste Axe quer zur erwähnten linkswendigen Spirale; das Verhältniss der beiden andern Axen unbekannt.

Trifolium rubens L. Dickwandige Haare des Fruchtkelches. Verhalten sich wie die Haare von *Stachys*: mit neutralen Längsstreifen und Linksdrehung; Winkel φ unbekannt.

Abies excelsa DC. Altes Holz, durch Maceriren in Salpetersäure und chlorsaurem Kali in die einzelnen Zellen zerlegt. a) Dünnwandige Holzzellen. Querschnitt p , Rand p , Fläche p . Die Stellung = erweist sich als consecutive, die Stellung \parallel als alternative; folglich Linksdrehung. Winkel φ nach Beobachtungen an halbirtten Zellen der Neigung der Poren und (stärkern) spiraligen Streifen entsprechend, welche letztere jedoch zwischen 0° und c. 45° variirt; Linksdrehung bestätigt. Hieraus: grösste Elasticitätsaxe der Streifung parallel, das Verhältniss der beiden andern Axen im Allgemeinen unbekannt, auf längsgestreiften Zellen jedoch stets die radiale die kleinste. b) Dickwandige Zellen. Querschnitt der sogenannten primären Membran p , der Verdickungsschichten p oder neutral, selten t ; Rand p ; Fläche im Gesamteffect p . Die orthogonalen Stellungen neutral. Hieraus für die primäre Membran: grösste Axe longitudinal, kleinste radial, mittlere quer-tangential. Die Vergleichung der Schichtenhöhen, welche auf Quer- und Längsschnitten (Randansichten) bestimmte Farben bedingen, ergibt ferner, dass die beiden tangentialen Axen nur wenig differiren können oder möglicher Weise (da die Flächenansicht der primären Membran für sich allein nicht beobachtet ist) gleich sind. Die Elemente sind also negativ-einaxig oder negativ-zwei-axig mit kleinem Axenwinkel. — Für die Verdickungsschichten ergibt sich aus Obigem: grösste Axe longitudinal, die beiden andern gleich oder doch, nach der schwachen Wirkung des Querschnittes zu schliessen, nur wenig verschieden; die Elemente folglich positiv-einaxig oder positiv-zwei-axig mit kleinem Axenwinkel.

Cedrus libanotica Lk. a) Poröse Holzzellen mit schief stehenden, einer linksläufigen Spirale entsprechenden Poren, deren Neigung gegen die Zellenaxe 45 — 80° beträgt. Querschnitt p , Längsschnitt p , Fläche t . Linksdrehung. Hieraus: grösste Elasticitätsaxe in der Richtung einer linksläufigen Spirale, die beiden andern unbekannt. b) Dickwandige Holzzellen mit zarten linksläufigen Spiralfasern. Querschnitt?, Rand in den äussern Schichten neutral, in den innern p ; Fläche p . Hieraus: grösste Axe in einer tangentialen Ebene, das Uebrige unbekannt.

Taxus baccata L. Dickwandige Holzzellen mit linksläufigen Spiralfasern und gleich geneigten Poren, Neigung zur Zellenaxe c. $30-40^\circ$. Querschnitt p , Rand p , Fläche t . Hieraus: grösste Axe in einer tangentialen Ebene, alles Uebrige unbekannt. — Weitaus die meisten Holzzellen mit rechtsgewundenen, linksgewundenen, steil ansteigenden oder niedergedrückten, sowie mit ringförmigen Fasern verhalten sich ebenso; die Poren haben indess durchgehends ungefähr dieselbe Neigung, sie entsprechen einer steilen linkswendigen Spirale.

Gunnera scabra Ruiz et Pav. Spiralgefässe mit rechtsläufigen niedergedrückten Windungen, deren Neigung zur Axe $> 45^\circ$. Querschnitt p , Rand p , Fläche t . Consecutivstellung mit Rücksicht auf die Zellenaxe \parallel , Alternativstellung $=$, folglich Rechtsdrehung. Die einzelnen Spiralfasern verhalten sich im Querschnitt ziemlich neutral; ihre grösste Elasticitätsaxe ist longitudinal. Hieraus: grösste Elasticitätsaxe der Gefässe in der Richtung einer niedergedrückten rechtsläufigen Spirale, die beiden andern unbekannt, jedoch wahrscheinlich (nach dem Verhalten der isolirten Spiralfasern zu schliessen) wenig verschieden.

Periderm und Cuticula. Beliebige Durchschnitte t . Hieraus: grösste Axe radial.

Muskelfasern. Nach Brücke und eigenen übereinstimmenden Beobachtungen an Käfermuskeln. Längsansicht p (longitudinal), Querschnitt neutral, orthogonale Stellungen neutral. Hieraus: grösste Axe der Längsrichtung parallel, die beiden andern gleich oder jedenfalls wenig verschieden; optisch-positiv. (Die gegentheilige Angabe von Mohl beruht auf einem Irrthum.)

B. Kugelige Objecte.

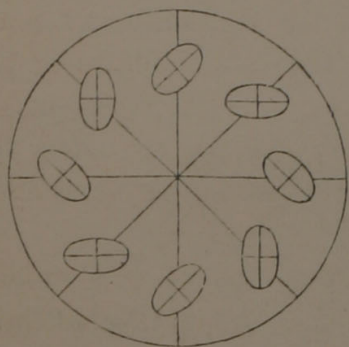
Stärkeköerner. Beliebige Durchschnichtsansicht t , Fläche neutral. Hieraus: radiale Axe die grösste oder eine mittlere, welche der grössten näher steht als der kleinsten. Möglicherweise einaxig und dann positiv.

Inulinkugeln aus den Zellen der Scheibe von *Acetabularia*, durch Liegen in Weingeist entstanden. Durchschnichtsansicht p , Fläche neutral. Hieraus: radiale Axe die kleinste oder eine mittlere, welche der kleinsten näher steht als der grössten. Möglicherweise einaxig und dann negativ.

C. Discokrystalle von Amylodextrin.

Die Amylodextrinscheibchen haben eine ähnliche Structur, wie die Sphärokrystalle; nur sind die Krystallnadeln nicht um ein Centrum, sondern radial um eine Axe geordnet. Sie unterscheiden sich von allen oben aufgeführten Objecten dadurch, dass bei senkrechter Stellung der Axe das schwarze Kreuz nicht orthogonal, sondern diagonal gestellt ist. Die Lage der wirksamen Elasticitätsellipsen ist durch nebenstehende Fig. 210 veran-

schaulich. Dem entsprechend hat man mit Gypsblättchen Roth I beispielsweise oben und unten gelb, rechts und links blau, und wenn man das Scheibchen umkehrt, oben und unten blau und rechts und links gelb. Bei horizontaler Lage der Axe beobachtet man keine Doppelbrechung.



Figur 210.

Aus diesem Verhalten folgt zunächst, dass alle Krystallnadeln gleich orientirt sind, genau so, als hätte man die nämliche Nadel in einer zur Axe rechtwinkligen Ebene im Kreise herumgeführt, — ferner, dass keine Axe des Elasticitätsellipsoids mit dem Radius zusammenfällt. Im Uebrigen sind über Gestalt und Lage des Elasticitätsellipsoids verschiedene Möglichkeiten denkbar.

VII.

Ueber die Anwendung des Nörrenberg'schen „Polarisationsmikroskops“.

- 351** Wir haben nachträglich noch dem Nörrenberg'schen »Polarisationsmikroskop«, dessen optische Einrichtung wir hier im Wesentlichen als bekannt voraussetzen, eine kurze Bemerkung zu widmen. Valentin rühmt diesem Instrumente nach, dass es bei Untersuchungen im polarisirten Licht in vielen Fällen zum Ziele führe, wo das gewöhnliche Mikroskop nicht mehr genüge. Wir können uns dieser Ansicht nicht anschliessen. Unsere Ueberzeugung geht dahin, dass selbst den bestconstruirten Polarisationsapparaten irgend eine hervorragende Bedeutung für mikroskopische Zwecke nicht zukommt. Die Polarisationsapparate sind ihrer Construction gemäss nur in solchen Fällen verwendbar, wo das zu untersuchende Object sich wie eine Krystallplatte verhält, und wo es überdiess das ganze Gesichtsfeld ausfüllt. Die starken Linsen, womit der Nörrenberg'sche Apparat ausgestattet ist, machen es zwar möglich, das Gesichtsfeld bis auf $0,1^{\text{mm}}$ zu verkleinern; allein es bleibt stets Bedingung, dass nur diejenigen Strahlen, welche die doppelbrechende Wirkung des Objects erfahren haben, zum Auge gelangen. Die Linse, welche als Ocular dient, ist nämlich auf eine Ebene eingestellt, welche mit der hintern Brennebene des Objectivs zusammenfällt oder doch nur wenig von ihr absteht. Man sieht also durchs Ocular nicht das reelle Bild des zu untersuchenden Gegenstandes, sondern bloss das System der Interferenzcurven, welche die einfallenden Strahlen in der Kreuzungsebene erzeugen.

Die Anwendbarkeit des Instruments beschränkt sich hienach auf kry-

stallähnliche Objecte oder Theile von Objecten, welche gross genug sind, um sie isolirt beobachten zu können. Als solche sind beispielsweise zu bezeichnen: grössere Durchschnitte durch Hornsubstanz und Chitin, Splitter von Muscheln, Zellmembranen von beträchtlicher Ausdehnung u. dgl. Man legt das Präparat, um alles fremde Licht abzuhalten, auf die feine Oeffnung einer dunkeln Unterlage, wozu sich z. B. ein Stanniölplättchen, das man auf den Objectträger klebt, ganz gut eignet. Die Interferenzcurven, welche alsdann zum Vorschein kommen, stimmen natürlich mit denjenigen überein, welche planplane Krystallplatten im Polarisationsapparate hervorrufen, und da hierüber jedes physikalische Lehrbuch die nöthige Auskunft giebt, so wäre es überflüssig, spezieller darauf einzugehen.

Die grosse Mehrzahl der mikroskopischen Objecte bleibt für das so- **352**
genannte Polarisationsmikroskop unzugänglich. Man betrachte z. B. ein beliebiges Zellgewebe, etwa einen Durchschnitt durch Tannenholz, wo jede Zellwand wie ein entsprechend orientirtes Krystallplättchen wirkt; man wird es vergeblich versuchen, alle Zellwände bis auf eine einzige zuzudecken, um deren Interferenzcurven zu beobachten. Und erst die cylindrischen und kugeligen Gebilde, deren krystallähnliche Elemente noch viel kleiner sind, als bei den erwähnten prismatischen Holzzellen!

Die Beobachtung der Zellgewebe im Polarisationsapparat lässt nur dann einen practischen Erfolg hoffen, wenn gewisse Wandungen so vorwiegend vertreten sind, dass sie auf parallel zu denselben geführten Durchschnitten den optischen Effect bedingen, d. h. Erscheinungen hervorrufen, die von den übrigen Wänden nicht wesentlich gestört werden.

Achter Abschnitt.

M i k r o p h y s i k.

I.

Flüssige Körper.

1. Erkennung und Unterscheidung flüssiger Körper.

353 Während man im gewöhnlichen Leben den Aggregatzustand der Körper leicht und sicher durch unmittelbare Wahrnehmung erkennt, erfordert es bei mikroskopischen Untersuchungen schon einige Vorsicht, um in schwierigeren Fällen feste Körper von flüssigen und diese von luftförmigen zu unterscheiden. Der practische Mikroskopiker weiss, dass es nicht immer leicht ist zu sagen, ob z. B. eine Spalte in einer festen Masse mit einer Flüssigkeit oder mit Luft gefüllt sei, ob kugelige in Wasser befindliche Gebilde aus einer festen oder öartigen Substanz bestehen, oder ob ein scheinbarer Hohlraum in einem festen Körper nur als stark aufgequollener und daher gallertartiger Theil desselben oder als ein mit Wasser gefüllter Raum zu deuten sei u. dgl. Es ist in solchen Fällen nothwendig, die fraglichen Objecte genauer zu untersuchen und auf indirectem Wege zu ermitteln, was sich direct nicht entscheiden lässt.

Die flüssigen Körper nehmen bekanntlich in einem flüssigen Medium, mit dem sie sich nicht mischen, Kugelgestalt an, so z. B. Oel in Wasser, Luft in Wasser etc. Sie lassen sich nun freilich an dieser Eigenschaft keineswegs immer sicher erkennen, da die Adhäsion benachbarter Gegenstände modificirend auf die hydrostatischen Kräfte einwirkt, sodass z. B. ein Oeltropfen ganz abgeplattet oder in eine feine Spitze ausgezogen erscheinen kann. Es steht aber auch die weitere Eigenschaft damit im Zusammenhang, dass Flüssigkeitstropfen jeder Kraft, welche nur auf einen Theil der Oberfläche wirkt, also auch jedem mechanischen Druck nachgeben. Wenn es daher möglich ist, einen mechanischen Druck mittelst der Nadel und des Deckgläschens auf ein zu untersuchendes Object auszuüben, so sind Formveränderungen, welche dabei eintreten, ein sicheres Merkmal

der flüssigen oder halbflüssigen Consistenz, während das Nichteintreten derselben auf eine feste Masse deutet. Im erstern Fall lässt sich sogar, wenn der Druck von Zeit zu Zeit plötzlich nachlässt, aus dem raschern oder langsamern Zurückkehren des Objects zur ursprünglichen Gestalt annähernd der Grad des Flüssigseins bestimmen. Ebenso giebt sich im zweiten Fall die grössere oder geringere Sprödigkeit der Substanz durch Zerbröckeln, Bildung von Rissen (z. B. bei Stärkekörnern) zu erkennen.

Eine fernere gemeinsame Eigenschaft der Flüssigkeiten, welche indess auch manchen festen Körpern zukommt, besteht darin, dass sie nie doppelbrechend sind. Als Kriterium kann dieselbe jedoch nur insofern gelten, als Medien, welche im polarisirten Licht sich als doppelbrechend erweisen, jedenfalls nicht flüssig sein können.

Handelt es sich um die Frage, ob eine scheinbare Flüssigkeit wirklich 354 als Lösung zu betrachten sei, so ist zunächst festzuhalten, dass jede wässerige Lösung, welche mit dem Wasser des Präparates in unmittelbarer Berührung steht, sich nach und nach gleichmässig in demselben verbreitet und folglich nie durch eine scharfe Grenzlinie von demselben geschieden sein kann. So erweisen sich z. B. die rothen und blauen Pflanzensäfte als ächte Lösungen, weil dieselben aus ausgeschnittenen oder irgendwo geöffneten Zellen rasch ausfliessen und spurlos im umgebenden Medium verschwinden, während verdünnter Stärkekleister, obschon er unter dem Mikroskop eine klare Flüssigkeit zu sein scheint, sich nach der Blaufärbung mit Jod sogleich deutlich von dem zugesetzten Wasser abgrenzt. Ebenso verhalten sich auch die rothen und violetten Wolken, welche gewisse Flechtenfarbstoffe nach Zusatz von Kali bilden; sie folgen den Strömungen des Wassers, ohne sich je gleichmässig in letzterem zu vertheilen.

Man darf übrigens nicht vergessen, dass Lösungen, welche den eben gestellten Anforderungen einer gleichmässigen Vertheilung in Wasser, ohne dass die Theilchen mikroskopisch wahrnehmbar wären, entsprechen, sich desswegen doch diosmotisch ungleich verhalten können. Die einen diosmiren nämlich durch thierische Häute oder Zellmembranen, die andern sind diosmotisch unwirksam. Zu den letztern ist z. B. die von Wasser, Schwefelsäure, Kupferoxydammoniak etc. gelöste Cellulose zu rechnen, welche sich im Uebrigen in jeder Hinsicht wie eine ächte Lösung verhält.

Die Gleichmässigkeit der Vertheilung einer gelösten Substanz im lösenden Medium ist eine nothwendige Folge der überall gleichen Anziehung, welche das letztere auf die Substanztheilchen ausübt. Eine Schicht von Kochsalz oder eine gesättigte Kochsalzlösung, welche den Boden eines mit Wasser gefüllten Cylinders bedeckt, muss z. B. nothwendig in das darüber befindliche Wasser diffundiren: die Salztheilchen wandern langsam von unten nach oben, die Wassertheilchen in entsprechender Zahl von oben nach unten, und es tritt nicht eher Gleichgewicht ein, als bis in jedem Punkte der Flüssigkeit dasselbe Verhältniss zwischen Salz und Wasser hergestellt

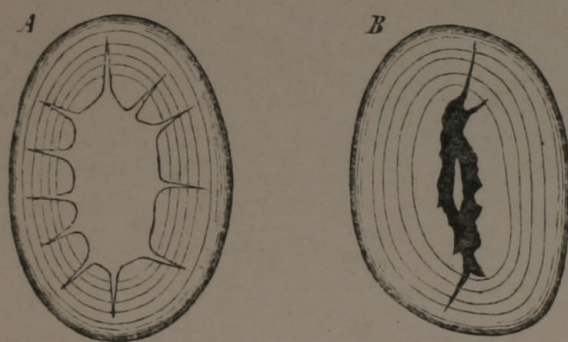
ist. Die gegenseitige Anziehung überwindet also den Einfluss der Schwere; sie lässt überhaupt in Lösungen die Differenzen des specifischen Gewichts heterogener Stoffe nicht zur Geltung kommen.

Für die Praxis dürfte diese letztere Eigenschaft in den meisten Fällen das brauchbarste Kriterium liefern. Jede Flüssigkeit, welche unter dem Mikroskope homogen erscheint und nach längerem Stehen oder unter dem Einfluss der Centrifugalkraft homogen bleibt, d. h. keinerlei Verschiedenheiten der Zusammensetzung erkennen lässt, ist als Lösung zu betrachten. Eine solche Lösung kann aber immer noch diosmotisch wirksam oder diosmotisch unwirksam sein.

Eine scharfe Grenze zwischen Lösung und mechanischer Suspension lässt sich indess trotz der bezeichneten Merkmale nicht ziehen. Die Theilchen, welche in einer Flüssigkeit suspendirt sind, können unter dem Einfluss derselben allmählig in immer kleinere zerfallen, bis endlich auch die letzten Einheiten, die chemischen Molecüle, vollständig isolirt sind. Das Endproduct ist in diesem Falle eine Lösung, das Anfangsglied in der Reihe der Umwandlungen dagegen ein Gemenge; dazwischen liegen die Uebergänge.

355 Die Unterscheidung tropfbarflüssiger Körper von elastischflüssigen ist keineswegs immer so leicht, als man sichs gewöhnlich vorstellt. Sie ist ganz allgemein nur dann möglich, wenn sowohl die Form des fraglichen Körpers, als auch das Brechungsvermögen des umgebenden Mediums annähernd bekannt ist. Ein Wassertropfen in Schwefelkohlenstoff gewährt ungefähr dasselbe Bild, wie eine Luftblase in Wasser, und eine platt gedrückte Luftblase in einer dichten Substanz wiederum ungefähr dasselbe, wie eine etwas weniger abgeplattete Wasserkugel. Linsenförmige Hohlräume in Stärkekörnern, Krystallen etc. sehen von der Fläche gesehen röthlich, im Profil dagegen schwarz aus, sie mögen mit Luft oder mit Wasser gefüllt sein.

In Fig. 214 sind beispielsweise die beiden Ansichten eines Stärkekorns



Figur 214.

aus den trockenen Saamenlappen von *Pisum sativum* dargestellt, welche das Gesagte veranschaulichen. Der unregelmässig linsenförmige Hohlraum desselben erscheint vollkommen dunkel, wenn man die schmale Durchschnichtsansicht desselben (B) beobachtet, in der Flächenansicht (A) dagegen röthlich und schwach conturirt; er gewährt

hier das Bild einer weichern Substanz, umgeben von einer dichtern Hülle.

Diese Beispiele zeigen zur Genüge, dass das mikroskopische Bild für

sich allein über den Inhalt eines gegebenen Raumes nicht unmittelbar Aufschluss giebt. Die Irrthümer, welche selbst geübte Mikroskopiker in der Deutung des Gesehenen sich zu Schulden kommen liessen, belehren uns auch, dass Täuschungen oft schwer zu vermeiden sind. Kützing*) hielt z. B. den Kern der Stärkekörner für eine mit Luft gefüllte Vacuole, Schleiden**) bezeichnete denselben »mit völliger Gewissheit« als eine Höhlung in der Substanz, und auch Nägeli huldigte dieser Ansicht, bis er sich später durch genaueres Studium der Stärkekörner überzeigte, dass der unveränderte Kern stets aus sehr weicher Stärke besteht. Eine ähnliche Meinungsverschiedenheit herrschte auch mit Rücksicht auf die Natur der wasserreichen Schichten, welche bekanntlich zuweilen den täuschenden Eindruck von Spalten gewähren.***)

Dem Beobachter ist bei Fragen dieser Art immer sehr zu empfehlen, sorgfältige Vergleichen mit Hohlräumen anzustellen, deren Inhalt er kennt, wie denn überhaupt das Anfertigen künstlicher Präparate von bekannter Beschaffenheit immer die zuverlässigsten Anhaltspunkte zur richtigen Deutung des Gesehenen liefert. Wie eine mit Wasser gefüllte Spalte in einem Krystall, einem Stärkekorn etc. aussieht, darüber orientirt man sich stets am besten, wenn man die betreffenden Körper unter Wasser zerdrückt und so Spalten hervorruft, welche natürlich nur Wasser enthalten können. Man überzeugt sich alsdann, dass solche Spalten oft ganz schwarz aussehen, als wären sie mit Luft gefüllt. Ebenso lässt sich der Eindruck, den kleine wasserführende Räume in einem ölartigen Medium hervorbringen, am sichersten bestimmen, wenn man ein Tröpfchen Wasser auf dem Objectträger mit einem grössern Oeltropfen mischt und so ähnliche Räume künstlich hervorbringt und dann untersucht. Solche Proben können auch den geübten Mikroskopiker vor Irrthümern bewahren.

2. Die Capillaritätserscheinungen.

Die Capillaritätserscheinungen, welche man direct unter dem Mikro- 356 skop beobachtet, bieten für Denjenigen, welcher das Phänomen aus den Lehrbüchern der Physik kennt, so gut wie nichts Neues. Es mag daher genügen, wenn wir auf diesen Punct nur in aller Kürze aufmerksam machen.

Da der Raum zwischen Objectträger und Deckglas ein capillarer ist, so bewegt sich ein Flüssigkeitstropfen in demselben stets nach der Stelle hin, wo die Gläser genähert sind, während eine Gasblase die entgegengesetzte Bewegung zeigt. Dasselbe gilt natürlich auch von horizontal gestellten Röhren (Gefässen, Kanälen etc.). Wo die Luft vollständig daraus ent-

*) Grundzüge der philos. Bot. I, p. 262.

**) Grundzüge der wiss. Bot. 3. Aufl. I, p. 177.

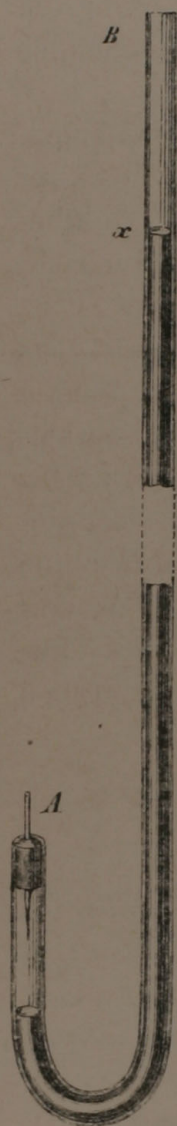
***). Vgl. hierüber Nägeli, die Stärke. p. 54.

weichen kann, füllen sich solche Räume immer sehr rasch mit Flüssigkeit; wo sie nicht entweichen kann dagegen nur insoweit, als das eingeschlossene Gas von der Flüssigkeit absorbiert wird, was in den meisten Fällen ziemlich langsam von statten geht. Das Letztere beobachtet man z. B. bei den Zelhöhlungen ausgetrockneter Gewebe, den Porenhöfen des Tannenholzes etc.

357 Von grösserem Belange ist die Frage, ob die bekannten Gesetze der Capillarität auch für mikroskopisch enge Röhrchen bis zu den äussersten Grenzen der Wahrnehmbarkeit Geltung haben. Die Höhe, bis zu welcher

Flüssigkeiten in Capillarröhrchen emporsteigen, steht bekanntlich, soweit die Beobachtungen reichen, im umgekehrten Verhältniss zum Durchmesser. Für Wasser beträgt dieselbe bei einer Röhrenweite von $4^{\text{mm}} 30^{\text{mm}}$ und bei einer Weite von $0,4^{\text{mm}} 300^{\text{mm}}$. Die Rechnung ergiebt hienach schon für Capillaren von 4 Mik. im Durchmesser eine Steighöhe von 30 Metern und führt somit folgerichtig zu der Annahme, dass die ungleich kleinern Micellarinterstitien der Membranen, sofern sie sich dem nämlichen Gesetze fügen, sich jedenfalls bis in die höchsten Spitzen der Bäume mit Wasser imbibiren müssen.

Um zu erfahren, ob diese Folgerungen wenigstens bis zu mikroskopisch kleinen Grössen mit der Wirklichkeit übereinstimmen, stellten wir einige Experimente mit fein ausgezogenen Glasröhrchen an, deren Lumina zwischen 4—40 Mik. im Durchmesser variirten. Die Aufgabe war, wenn auch nicht die Steighöhe, so doch die Kraft der capillaren Ascension, oder genauer die Widerstände, welche die capillaren Wassersäulen in solchen Röhrchen einem auf den Meniscus wirkenden Drucke entgegensetzen, direct zu messen. Die Röhrchen wurden zu diesem Behufe mit Wasser gefüllt, dann mittelst eines Korkes in das umgebogene Ende *A* einer langen Röhre (Fig. 242) so eingefügt, dass die feine Spitze nach innen gekehrt war, und hierauf sorgfältig verkittet. Wurde nun in den langen Schenkel *B* Quecksilber eingegossen, welches die Luft unterhalb *A* comprimirte, so musste sich zeigen, auf welche Höhe *x* der Druck gesteigert werden konnte, bis das Wasser aus der Capillarröhre verdrängt und durch Luft ersetzt wurde. Es blieb alsdann nur noch übrig, diese Höhe mit



Figur 242.

dem specifischen Gewicht des Quecksilbers $= 13,6$ zu multipliciren, um das Maass der capillaren Anziehung, sofern dasselbe mit dem gemessenen Widerstande übereinstimmt, in Wasser auszudrücken.

Diese Versuche gelangen indess nur mit Röhrchen, deren Weite nicht unter 3 Mik. betrug; bei den engern bis zu 4 Mik. Durchmesser traten

Störungen ein, welche die Widerstände bedeutend vermehrten und dadurch das Ergebniss unsicher machten. *) Bis zu der bezeichneten Grenze stellte sich aber als unzweifelhaft heraus, dass das umgekehrte Verhältniss der Durchmesser jedenfalls annähernd maassbestimmend bleibt; überdiess ist sicher, dass die Capillaranziehung auch über diese Grenze hinaus in irgend einem Verhältniss zunimmt. Diess geht auch aus den bekannten Versuchen von Jam in hervor, wonach die Kraft, welche in festgestampftem Pulver von Zinkoxyd oder Stärke wirksam wird, eine Höhe von 4—6 Atmosphären erreicht.

Um indess noch weitere Anhaltspunkte zu gewinnen und für die Mi- 358
cellarinterstitien der Membranen wenigstens eine untere Grenze in directer Weise zu ermitteln, wurde bei einem neuen Versuch die Capillarröhre durch einen aus frischem Tannenholz quer **) herausgeschnittenen Pfropf ersetzt, welcher mit Wasser durchtränkt und ebenfalls sorgfältig eingekittet wurde, jedoch so, dass die beiden Endflächen vollständig frei waren. Die Höhe der Quecksilbersäule wurde bei diesem Versuche allmählig bis zu 2250^{mm} gesteigert, was in Wasser ausgedrückt 30,75 Meter oder 102,5 badische Fuss ausmacht, ohne dass die im kurzen Schenkel eingeschlossene Luft durch den Pfropf herausgepresst worden wäre; das Niveau des Quecksilbers war vielmehr nach mehreren Wochen noch durchaus unverändert. Damit ist aber bewiesen, dass die Capillaranziehung die Zellwandungen wirklich bis zu einer Höhe von wenigstens 100 Fuss mit Wasser versehen kann, natürlich unter der Voraussetzung, dass der Bedarf die unter den gegebenen Verhältnissen mögliche Zufuhr nicht übersteige und dass keine andern Kräfte der Capillaranziehung entgegenwirken.

Es ist nun ohne Weiteres klar, dass, wenn im obern Theil eines Ca- 359
pillarröhrensystems Wasser durch Verdunstung verloren geht, die Capillaranziehung diese Verluste durch von unten nachströmende Flüssigkeit sofort zu ersetzen strebt. Und zwar wird sich dieses Bestreben in den einzelnen Theilen des Systems genau auf dieselbe Höhe erstrecken, bis zu welcher das Wasser in den leer gedachten Capillarröhren steigen würde. Daraus folgt nun zwar, dass die Capillaranziehung in Verbindung mit der Transpiration eine continuirliche Strömung in der Richtung von unten nach oben, oder ganz allgemein nach den Verbrauchsstellen hin, zu erzeugen vermag; allein es ist einleuchtend, dass diess nur in solchen Fällen wirklich geschieht, wo die erforderliche Strömung nicht durch andere Kräfte,

*) Näheres hierüber findet man in den Sitzgsber. der k. bayer. Akad. der Wiss. zu München, 1866, wo diese und andere von uns angestellten Versuche über Capillareffekten mitgetheilt sind.

**) Versuche, welche mit längs herausgeschnittenen Pfropfen angestellt wurden, wobei also die Holzzellen eine der Röhrenaxe parallele Lage hatten, misslangen, indem die Luft schon durch eine Quecksilbersäule von 200—400^{mm} ziemlich rasch herausgepresst wurde. Es konnte diess nur daher rühren, dass die Poren der ältern Holzzellen bereits wirkliche Löcher geworden, oder dass andere gröbliche Zwischenräume vorhanden waren. Desshalb wurde der Versuch mit einem quer herausgeschnittenen Pfropf, welcher aus innerem Rindenparenchym, Cambium und jungem Holz bestand, wiederholt.

die den Wasserbedarf nach allen Seiten hin decken, dauernd unterhalten wird. Steht z. B. die Flüssigkeit in einem Capillarröhrensystem unter einem gewissen Druck, welcher die concaven Menisken in den Enden der Röhren ebnet oder nach aussen wölbt, so ist es selbstverständlich dieser Druck, welcher die Strömung der Flüssigkeit verursacht, und die Capillarität bleibt ausser Wirkung.

Der Ersatz, den die Capillarität zu leisten im Stande ist, hängt überdiess unter allen Umständen von dem Widerstande ab, welchen die unter den gegebenen Verhältnissen wirksamen Kräfte zu überwinden haben. Es ist von vorne herein denkbar, dass das Wasserquantum, welches an den Verbrauchsstätten in der Zeiteinheit verloren geht, grösser ist als dasjenige, welches die capillaren Kräfte in derselben Zeit zu liefern vermögen, und in einem solchen Falle müsste natürlich das Wasserniveau allmählig sinken, bis die in Folge der zunehmenden Spannung der Dämpfe verlangsamte Verdunstung der gleichzeitig rascher gewordenen Zufuhr das Gleichgewicht hält. Unter welchen arithmetisch bestimmten Bedingungen aber für ein gegebenes System dieses Gleichgewicht besteht, kann selbstverständlich nur durch den Versuch ermittelt werden.

Die experimentelle Prüfung dieser Frage liefert nun in der That das Ergebniss, dass die Verdunstung in feinen Capillarröhren schon in verhältnissmässig geringer Höhe die Wasserzufuhr überwiegt. Unter der Luftpumpe kann man diess sogar, wenn auch nicht gerade in auffallender Weise, schon bei fein ausgezogenen Glasröhren beobachten. Ist z. B. der Durchmesser einer solchen Röhre $= 0,42^{\text{mm}}$, so steigt das Wasser nach vorher gegangener Befeuchtung mit einer Geschwindigkeit in die Höhe, welche für die ersten $60-70^{\text{mm}}$ durchschnittlich c. $40-42^{\text{mm}}$ per Secunde beträgt, für die letzten $4\frac{1}{2}-2^{\text{mm}}$ aber auf c. $\frac{1}{60}^{\text{mm}}$, also auf 1^{mm} per Minute heruntersinkt. In derselben Röhre, wenn sie bis oben mit Wasser gefüllt und unten geschlossen ist, bedingt aber die Verdunstung unter der Luftpumpe, bei einer Temperatur von 6°R. und einem Manometerstande von $4-2^{\text{mm}}$, ein gleichmässiges Sinken des Niveaus von $4,5^{\text{mm}}$ per Minute. Wenn also Verdunstung und Capillarität gleichzeitig wirksam sind, wie es bei der in Wasser gestellten Röhre der Fall ist, so gewinnt die Verdunstung für den obersten Theil der Wassersäule nothwendig die Oberhand: das Niveau muss sinken, bis die aufwärtsgehende Strömung die Geschwindigkeit von $4,5^{\text{mm}}$ per Minute erreicht hat. Erwägt man nun, dass die Verdunstung um so rascher erfolgt, je feiner die Capillarröhre,*) so sieht man ohne

*) Drei Capillarröhren von 900, 385 und 120 Mik. Weite, welche bis oben mit Wasser gefüllt waren, verdunsteten unter der Luftpumpe, bei $4\frac{1}{2}-2^{\text{mm}}$ Barometerstand und 6°R. , während 10 Minuten $3\frac{1}{6}$, 8 und 44^{mm} . Die Verdunstungsmengen verhielten sich also wie $1:2,52:4,42$, die Durchmesser umgekehrt wie $1:2,33:7,5$. Die Verdunstung findet übrigens um so langsamer statt, je länger der bereits entleerte Theil der Capillarröhre. Schon bei einem Abstände von $15-20^{\text{mm}}$ vom obern Ende erreicht die Spannkraft der Wasserdämpfe einen solchen Grad, dass sie einer Wassersäule von $70-$

Weiteres ein, dass die Niveauveränderungen, welche jene hervorruft, in grössern Steighöhen, wo die Geschwindigkeit des Aufsteigens sehr gering ist, in sehr augenfälliger Weise hervortreten müssen.

Viel geeigneter zu solchen Versuchen, als Glasröhren, sind indess feine Capillarsysteme, wie man sie erhält, wenn man weitere Röhren mit unlöslichen gepulverten Stoffen vollstopft. Wir verwendeten hiezu die käufliche Weizenstärke, und um ein gleichmässig mit Flüssigkeit durchdrungenes Capillarsystem zu erhalten, rührten wir dieselbe mit Wasser zu einem dünnflüssigen Brei an, welcher letztere in eine unten mit einem porösen Pfropf verschlossene Barometerröhre von c. 5^{mm} im Durchmesser eingefüllt wurde. Nachdem die Stärke sich etwas gesetzt hatte, wurde das darüber befindliche Wasser mittelst der Pipette entfernt und hierauf ein neues Quantum Stärkebrei nachgegossen. Zuletzt wurde der Röhre ein quadratisches Brettchen, das nach Art eines Schachteldeckels mit einer Randeinfassung versehen war, aufgesetzt und ebenfalls mit Stärkebrei übergossen. Der dünne Stärkescylinder war auf diese Weise mit einer verdunstenden Schicht von c. 4 Quadratdecimeter Fläche und 6—10^{mm} Dicke in Verbindung gebracht.

Der so hergestellte Apparat wurde jetzt mit dem untern Ende in ein Gefäss mit Wasser gestellt und bei gewöhnlicher Zimmertemperatur stehen gelassen. Das Resultat war entscheidend. Schon am andern Tage fühlte sich die Oberfläche der verdunstenden Schicht ziemlich trocken an und bald darauf bildeten sich zahlreiche, netzförmig anastomosirende Risse. Die ganze Schicht trocknete nach und nach vollständig aus, und auch im obern Theil des Stärkescylinders zeigten sich deutliche Spuren der Trockenheit. Kein Zweifel, dass hier die Zufuhr gegenüber den durch die Verdunstung verursachten Verlusten verschwindend klein war.

Die Capillarität ist also nicht im Stande, ein System von capillaren Räumen, welche nach oben in eine verdunstende Fläche ausmünden, auch nur bis auf einige Fuss über das Niveau des umgebenden Wassers hinauf im gefüllten Zustande zu erhalten, selbst dann nicht, wenn sie — wie diess in unserm Falle angenommen werden darf — mit einer Kraft von 4—6 Atmosphären wirksam ist. Die Folgerungen, welche sich hieraus für die Pflanze ergeben, liegen nahe. Ein Baum, in welchem wir uns ausser der Capillaranziehung keine andern Kräfte thätig denken, muss von oben nach unten austrocknen, bis endlich der aufsteigende Wasserstrom die durch Verdunstung herbeigeführten Verluste zu ersetzen vermag.

3. Spannung der Gase und Flüssigkeiten.

Wenn sich Gase in Flüssigkeiten entwickeln oder von aussen in die- 360

80^{mm} das Gleichgewicht hält und folglich in unten offenen Röhren das Niveau um eine entsprechende Grösse rückwärts drängt. Näheres hierüber in den oben citirten Sitzungsber. der k. bayer. Akad. d. Wiss. zu München (1866).

selben eingeführt werden, so sind die Spannungen, welche sie annehmen, durch diejenige der Flüssigkeit und durch die ihrer Abgrenzungsfläche entsprechende Capillaranziehung bestimmt. Eine kugelförmige Luftblase von 1^{mm} Durchmesser, welche in einem offenen Gefäss schwebend gedacht wird, muss beispielsweise eine positive Spannung besitzen, welche die des umgebenden Wassers und der äussern Luft um den Druck einer Wassersäule von 30^{mm} (der Steighöhe für eine Capillarröhre von 1^{mm} Weite) übertrifft. Ebenso muss ein entsprechender Ueberschuss in Zellen vorhanden sein, welche in einem Theil ihres Lumens Luft und in dem andern Saft enthalten, vorausgesetzt, dass diesem letztern Theil der erforderliche Zufluss von aussen gesichert sei, so dass die capillaren Kräfte ungeschwächt zur Wirkung kommen.

Stellen wir uns vor, ein System von Capillarräumen sei zunächst ganz mit Wasser durchdrungen, so nimmt offenbar die Spannung der Flüssigkeit, ähnlich wie im Barometer, in arithmetischer Progression von unten nach oben ab. Bezeichnet man also die Spannung einer freien Wasseroberfläche, auf welcher der Druck einer Atmosphäre lastet, mit 0, so sinkt sie im Capillarsystem bei c. 10 Meter Steighöhe auf -1 Atmosphäre herunter und nimmt sodann in grössern Höhen diesen letztern proportionale Werthe an, welche beispielsweise für 20 Meter $= -2$, für 30 $= -3$, für 40 $= -4$ Atmosphären betragen u. s. f. Führen wir jetzt in Gedanken kleine Luftbläschen in die Flüssigkeit ein, so zeigen natürlich auch diese eine von unten nach oben abnehmende Spannung, allein die letztere ist durchgehends um den oben bezeichneten, durch den Krümmungshalbmesser bedingten Ueberschuss grösser, als die der angrenzenden Flüssigkeit; sie kann dieselbe, wenn die wirksamen Menisken hinreichend klein sind, um eine volle Atmosphäre und mehr überwiegen.

Diese capillaren Spannungsdifferenzen zwischen Luft und Flüssigkeit müssen in der lebenden Pflanze nothwendig hie und da vorkommen; dieselben beschränken sich aber, wie leicht einzusehen, auf diejenigen grössern Capillarräume, in welchen Luft und Wasser neben einander enthalten sind, d. h. auf die Höhlungen der Zellen. Membranen und Zwischenzellräume kommen hier selbstverständlich nicht in Betracht, erstere, weil sie keine Luft, letztere, weil sie kein Wasser führen. Und da auch die Zellhöhlungen der eben erwähnten Bedingung selten genügen, da sie in der Regel ganz mit Luft oder ganz mit Zellsaft gefüllt sind; da überdiess der Durchmesser derselben, wenigstens bei höhern Pflanzen und soweit sie überhaupt je Luft enthalten, ein sehr beträchtlicher ist, so ergiebt sich hieraus, dass jene Spannungsdifferenzen nur selten vorkommen und auch dann nur einen kleinen Bruchtheil einer Atmosphäre betragen können.

Uebrigens ist klar, dass ein ins Gewebe eingesenktes oder auf einen Querschnitt aufgesetztes Manometer nur die Spannung der Flüssigkeit, nicht die der eingeschlossenen oder beim Aufsetzen frei werdenden Luftbläschen

anzeigt und auch jene nur dann, wenn ein zur Uebertragung der Spannung auf das Manometer hinreichendes Flüssigkeitsquantum bei gleichbleibendem Drucke in Bewegung gesetzt wird.

Sind Gase und Flüssigkeiten durch permeable Membranen von einander 361
getrennt, so besteht zwar das Bestreben nach Ausgleichung der Spannungen, die capillaren Wirkungen abgerechnet, auch in diesem Falle. Steht z. B. die Flüssigkeit unter einem höhern Druck als das Gas, so wird sie durch die trennende Scheidewand so lange hindurchströmen, bis der Gegendruck nahezu gleich ist, während im umgekehrten Falle das Gas, sofern es absorptionsfähig ist, theilweise in die Flüssigkeit übergeht. Da indess solche Ausgleichungen, wie alle Diffusionsvorgänge, langsam stattfinden, so mögen vorübergehend Differenzen vorkommen, die eine beträchtliche Höhe erreichen. Es kann sogar der Fall eintreten, dass Gasblasen, die in einem geschlossenen Raume entstehen, eine Spannung von mehreren Atmosphären entwickeln, so dass sie nach dem Auflösen oder Oeffnen der Hülle sich auf ein Mehrfaches ihres ursprünglichen Volumens ausdehnen. Solche Spannungen kommen z. B. in Stärkekörnern, welche mit concentrirter Schwefelsäure oder Aetzkalklösung behandelt wurden, hie und da vor, *) sie bilden aber immerhin eine seltene Ausnahme.

Die Spannungen, welche nach den bis jetzt hierüber angestellten Beobachtungen in Geweben vorkommen, differiren in der Regel, die Zeit des 362
Thränens abgerechnet, nur wenig vom äussern Luftdruck; sie sind bald etwas grösser, bald auch etwas kleiner als derselbe. Diese geringen Differenzen, selbst in den höchsten baumartigen Gewächsen, haben auf den ersten Blick fast etwas Befremdendes; sie sind unerklärlich, wenn man von der Vorstellung ausgeht, dass die Zellsäfte durch die Wurzeln wie durch ein Pumpwerk nach oben getrieben oder durch capillare Kräfte gehoben werden, da im ersten Falle hohe positive Spannungen in den untern Theilen, im zweiten Falle hohe negative Spannungen in den obern Theilen der Pflanze vorhanden sein müssten. Dieselben werden aber sogleich erklärlich, wenn man die treibenden Kräfte, wie wir unten als nothwendig darlegen werden, in die Wandungen aller leitenden Zellen verlegt. In diesem Falle erhält jede einzelne Flüssigkeitsschicht des steigenden Saftstroms ihren besondern Impuls, ganz so, als ob sie in einer feinen Röhre durch die Ruderschläge eines Flimmerepitheliums gehoben würde. Ein hydrostatischer Druck der höhern Schichten auf die tiefern und die hier eingeschlossene Luft findet demzufolge nicht statt; es entwickeln sich höchstens kleine Spannungen in Folge der ungleich raschen Bewegung verschiedener Schichten. Rücken z. B. die obern Schichten langsamer vorwärts als die untern, so wird die zwischenliegende Flüssigkeit positiv, im umgekehrten Falle dagegen negativ gespannt. Eine eingeschlossene Luftblase würde sich im

*) Man vergleiche Nägeli, die Stärkekörner p. 158.

ersten Fall etwas verkleinern, im zweiten vergrössern, und ein in die Strömung eingetauchtes Manometer müsste um entsprechende Grössen steigen und fallen.

- 363** Die localen Spannungen, welche die sogleich näher zu besprechenden endosmotischen Verhältnisse und die Erscheinungen des »Thränens« hervorrufen, bilden eine Frage für sich. Erstere können, wie später gezeigt werden wird, nur einen kleinen Bruchtheil einer Atmosphäre ausmachen. Von grösserem Belang ist dagegen der Druck, welchen der zur Zeit des »Thränens« in die Gefässe hineingepresste Saft auf das umgebende Gewebe ausübt. Da nämlich die Gefässe, wenn sie überhaupt eine besondere stromerzeugende Kraft besitzen, jedenfalls nicht in dem Maasse damit ausgestattet sind, wie es das verhältnissmässig grosse Lumen derselben erfordern würde, so versetzt die in ihnen enthaltene Wassersäule nach und nach die ganze Umgebung in eine der Höhe entsprechende Spannung, die jedoch selbstverständlich mit der Entleerung ebenso allmählig wieder auf Null sinkt. Wie stark diese Spannung werden kann, lässt sich nach den von Hales und Andern gemessenen Gesamtspannungen ungefähr beurtheilen; directe Beobachtungen hierüber hat bis jetzt, soviel wir wissen, Niemand angestellt.

Die mikroskopische Bestimmung der Spannungen ist in der Regel mit unübersteiglichen Hindernissen verknüpft; sie ist selbstverständlich nur da möglich, wo es gelingt, die Ausdehnung der im Gewebe eingeschlossenen Luft beim Liegenlassen eines frischen Präparates unter dem Mikroskop zu beobachten. In den meisten Fällen bleiben daher Bestimmungen dieser Art der Experimentalphysiologie vorbehalten.

- 364** Soweit die Endosmose den hydrostatischen Druck des wässerigen Zellsaftes bedingt, ist derselbe in Zellen, die von Wasser umspült sind, voraussichtlich immer etwas stärker als eine Atmosphäre. Es ist diess eine nothwendige Folge der Wasseraufnahme, welche die diosmotische Wirkung des Zellinhaltes, der sich ja immer wie eine verdünnte Lösung verhält, hervorruft. Die Wandung dehnt sich dabei so lange aus, bis sie eine Spannkraft erreicht hat, welche in gleicher Zeit ebensoviel Flüssigkeit aus der Zelle herauszupressen vermag, als die diosmotische Kraft nach innen in Bewegung setzt.

Die Höhe des durch Endosmose bewirkten Druckes hängt übrigens nicht allein von der Grösse der stromerzeugenden Kraft, sondern ebenso sehr von der Grösse des Filtrationswiderstandes ab. Der letztere ist natürlich je nach der Beschaffenheit der Membran und der filtrirenden Flüssigkeit grösser oder kleiner; das arithmetische Maass desselben ist bei bekanntem Druck gegeben durch die Flüssigkeitsmenge, welche in der Zeiteinheit durch die Membran geht. Wir können demnach sagen: hydrostatischer Druck und Diosmose bewirken entgegengesetzte Strömungen durch die Membran, und der Gleichgewichtszustand setzt voraus, dass

diese beiden Strömungen einander gleich sind. Soll also beispielsweise der Druck im Zellsaft 7 Atmosphären erreichen, so muss die diosmotische Kraft ebensoviel Wasser in der Zeiteinheit hereinführen, als jener Druck hinauszupressen vermag.

Von dem Vorhandensein eines beträchtlichen Druckes im Lumen der Zelle überzeugt man sich, wenn man ein beliebiges Stück eines saftigen Gewebes unter dem Mikroskop beobachtet. Die Wandungen, welche von dem umgebenden Wasser bespült werden, wölben sich alsdann alle nach aussen, während sie im unversehrten Gewebe geradlinig waren. Besonders schön tritt diese Erscheinung an den Scheidewänden mancher Algenfäden, z. B. der Spirogyren hervor, wenn dieselben durch einen quer ge-

a



Figur 213.

führten Schnitt blossgelegt, oder wenn einzelne Zellen verletzt wurden (Fig. 213, a eine verletzte oder abgestorbene Zelle).

Aehnliche Spannungsverhältnisse kommen aber auch bei Zellen und Geweben vor, welche theilweise von Luft, statt Wasser, umgeben sind, natürlich unter der Voraussetzung, dass die Verluste, welche die Verdunstung veranlasst, durch reichliche Wasserzufuhr fortwährend ersetzt werden. Im entgegengesetzten Falle nimmt die Spannung allmählig ab und schlägt auch wohl in die entgegengesetzte um, wie man das an Haaren beobachtet, welche durch den vorwiegenden Druck der atmosphärischen Luft eingestülpt oder zusammengefaltet werden.

Man kann diese Umkehrung der Spannung auch künstlich hervorrufen, wenn man die Zellen in Zuckerlösung oder Glycerin, überhaupt in ein Medium bringt, welches eine starke Exosmose bewirkt. Eine Formveränderung der Zelle ist indess nur dann damit verbunden, wenn die Membran dem von aussen wirkenden Druck nicht zu widerstehen vermag, was übrigens bei dünnen Membranen und rascher Einwirkung der Zuckerlösung der gewöhnliche Fall ist.

Jede Zelle hat in Folge der Spannung, welche der hydrostatische Druck des Inhaltes hervorruft, das Bestreben, eine bestimmte Form anzunehmen. Eine eiförmige Zelle zeigt z. B., wenn sie sich frei ausdehnen kann, ein bestimmtes Verhältniss zwischen Längs- und Querdurchmesser. Wirkt in der einen oder andern Richtung eine Kraft entgegen, welche die freie Ausdehnung verhindert, so wird jenes Verhältniss in der Art gestört, dass die Zelle in der entsprechenden Richtung zusammengedrückt, in der andern ausgedehnt erscheint. Ihr Volumen bleibt dabei unverändert, weil der flüssige Inhalt nicht compressibel ist.

Diese Folgerungen haben natürlich auch dann noch Geltung, wenn die gestaltverändernde Kraft, statt von aussen auf die Membran einzuwirken, in dieser selbst ihren Sitz hat. Sie sind z. B. anwendbar auf jene plötzlichen Bewegungserscheinungen, welche bei irritablen Pflanzen auf äussere Reize eintreten. Die mechanische Ursache der Bewegung kann hier nur in der Wandung, d. h. in der Cellulosemembran oder im Primordialschlauch liegen. Entweder finden hier Verschiebungen der kleinsten Theile statt, in Folge deren die Zellen eine andere Form anzunehmen bestrebt sind, wobei natürlich die Cellulosehaut vorzugsweise in Betracht käme, oder es tritt eine Verminderung des Filtrationswiderstandes ein, die umgekehrt vorwiegend oder ausschliesslich den Primordialschlauch trifft. In beiden Fällen ist eine dem Reizeffect entsprechende plötzliche Volumenänderung, die natürlich nur durch rasches Ab- oder Zuströmen von Wasser zu Stande kommen kann, in dünnwandigen, interstitienlosen Geweben wegen des Widerstandes der Membranen nicht denkbar; sie wird erst möglich durch die Annahme, dass die reizbaren Zellen an Zwischenzellräume grenzen, in denen das Wasser sich frei und darum viel rascher bewegen kann. Sofern also grössere oder kleinere Intercellularen in den reizbaren Geweben thatsächlich vorhanden sind, ist eine die Erschlaffung begleitende Volumverminderung in Folge plötzlicher Wasserabgabe keineswegs unwahrscheinlich.*)

366 Die Zelle verhält sich also, wie aus dem Gesagten hervorgeht, gewissermaassen wie ein elastischer Körper; sie erfährt durch äussere oder innere Kräfte gewisse Formveränderungen und kehrt nachher, wenn der Druck oder Zug aufgehört hat, zu ihrer frühern Gestalt zurück. Dasselbe gilt natürlich auch von Geweben. Saftige Gewebe befinden sich in der lebenden Pflanze fortwährend in einem Zustande der Spannung, weil sie mit andern Geweben, die ihrer freien Ausdehnung Widerstand leisten und folglich in entgegengesetzter Weise gespannt werden, zu einem Ganzen verbunden sind. Hieraus erklärt sich die Erscheinung, dass ein Blatt (z. B. von *Allium*), dem auf der einen Seite die Epidermis abgezogen wird, sich nach der entgegengesetzten Seite krümmt, weil die Cuticula am unversehrten Blatt negativ, das Blattparenchym dagegen positiv gespannt ist. Auch das Aufspringen der Früchte, die Bewegungen der sensitiven Pflanzen etc. lassen sich darauf zurückführen, dass das im Zustand der Ruhe bestehende Verhältniss entgegengesetzter Spannungen durch eine neu hinzukommende Kraft plötzlich verändert, das vorhandene Gleichgewicht also gestört wird.

Diese Spannungsverhältnisse sind in neuerer Zeit vielfach Gegenstand der Untersuchung geworden und es steht jedenfalls fest, dass eine Reihe von Bewegungserscheinungen darin ihre Erklärung finden.**)

*) Vgl. Pfeffer, Physiologische Untersuchungen, Leipzig 1873.

**) Vgl. Brücke: Ueber die Bewegungen der *Mimosa pudica* (Müller's Archiv f. Anat. und Physiol. 1848, p. 440); ferner:

die physikalische Erörterung solcher Spannungen sich leichter an die Elasticitätskräfte homogener Körper anknüpft, so wollen wir dieselbe einem spätern Capitel vorbehalten.

4. Ungleiche Concentration der Lösung im Tropfen des Präparats.

Ein Tropfen einer beliebigen Lösung, den man auf Papier, Kleider etc. 367 bringt, breitet sich auf der permeablen Unterlage aus und lässt beim Verdunsten immer zunächst der Peripherie die deutlichsten Spuren des gelösten Stoffes zurück. Man beobachtet diess z. B. an Wein- und Kaffee- flecken. Offenbar wird in solchen Fällen die ursprünglich gleiche Concentration der Lösung während der Ausbreitung ungleich: die gelösten Stoffe sammeln sich vorzugsweise zunächst der Peripherie.

Dasselbe findet nun auch in Tropfen statt, welche man unbedeckt auf dem Objectträger ausbreitet, und in weniger auffallendem Grade auch nach dem Auflegen eines Deckglases. Eine Salzlösung scheidet immer zunächst dem Umfange Krystalle aus, und wenn die Verdunstung vollendet ist, nimmt die trockene Substanz, welche zurückbleibt, von aussen nach innen an Masse ab. Es lässt sich nachweisen, dass in diesem Fall die Ursache der fraglichen Erscheinung in der raschern Verdunstung am Umfange zu suchen ist; denn stürzt man über den Tropfen einen Deckel, der durch eine kleine Oeffnung in der Mitte Luft zutreten lässt, so häufen sich die gelösten Substanzen unmittelbar unter der Oeffnung am stärksten an, weil alsdann hier die Verdunstung am lebhaftesten ist. *)

Es versteht sich übrigens von selbst, dass die Zunahme der Concentration an irgend einer Stelle wesentlich mit von der Beschaffenheit der gelösten und lösenden Substanz bedingt wird. In einem Gemisch von Wasser und Salzsäure erfolgt sie nur so lange, bis die Grenze erreicht ist, wo sich beide in gleichem Maasse verflüchtigen, und ebenso in Wasser und Schwefelsäure nur bis zur Herstellung des Gleichgewichts zwischen der Neigung, mit welcher das Wasser verdunstet, und der Kraft, womit die Schwefelsäure dasselbe zurückhält.

Für die mikroskopische Untersuchung sind die erwähnten Thatsachen 368 in dreifacher Beziehung von Wichtigkeit. Sie dienen erstens dazu, ungleiche Veränderungen zu erklären, die an verschiedenen Stellen des Prä-

Hofmeister: Ueber die durch die Schwerkraft bestimmten Richtungen von Pflanzentheilen (Pringsheims Jahrb. III). Ueber die Beugungen saftreicher Pflanzentheile nach Erschütterung (a. a. O. II). Ueber die Mechanik der Reizbewegungen von Pflanzentheilen (Flora 1862, p. 497).

Pfeffer: Physiol. Unters. Leipzig 1873. Die periodischen Bewegungen der Blattorgane, Leipzig 1875.

*) Näheres hierüber findet man in der Abhandlung von Nägeli: Die ungleiche Vertheilung gelöster Stoffe in dem Wassertropfen eines mikroskopischen Präparats (Sitzungsberichte der k. bayer. Akad. d. Wiss. 1863, 14. Nov.).

parates eintreten. Sie erlauben zweitens, dieselbe Veränderung an dem nämlichen Präparat wiederholt und in beliebiger Langsamkeit eintreten zu lassen und dabei Differenzen zur Anschauung zu bringen, welche sonst übersehen werden. Endlich machen sie es möglich, die geringste Menge einer gelösten Substanz, die sonst in keiner Weise nachgewiesen werden kann, wahrzunehmen.

In Betreff des ersten Punctes wollen wir nur erwähnen, das gewisse Stellen eines Präparates bei Anwendung von Reagentien häufig ein stärkeres Aufquellen oder eine deutlichere Färbung etc. zeigen, als andere Stellen, obschon die Natur des Objects eine gleichmässige Einwirkung mit ziemlicher Sicherheit erwarten liesse. Diese Verschiedenheiten rühren denn auch in der That, wie die genauere Prüfung zeigt, in den meisten Fällen von Concentrationsdifferenzen in der Lösung her, wie sie durch die ungleichmässige Verdunstung der Beobachtungsflüssigkeit hervorgerufen werden.

Der zweite Punct gewinnt namentlich dann Bedeutung, wenn es sich darum handelt, Lösungs-, Quellungs- oder Färbungsprocesse, welche von der Concentration der einwirkenden Flüssigkeit abhängen, genauer zu verfolgen. Wird nämlich die letztere zunächst in solcher Verdünnung angewendet, dass sie keinerlei Veränderungen am Object bewirkt, so ruft die steigende Concentration während der Verdunstung nach und nach alle Stadien des fraglichen Processes hervor und da man weiss, in welcher Richtung die Einwirkung fortschreitet, so hat man den Vortheil, alle möglichen Uebergänge an neben einander liegenden Objecten beobachten und miteinander vergleichen zu können. Man erreicht zwar ungefähr dasselbe, wenn man das betreffende Reagens auf der einen Seite des Deckglases zusetzt und dessen fortschreitende Einwirkung während der Diffusion verfolgt; doch ist dieses Verfahren in schwierigen Fällen entschieden weniger zweckdienlich, als das vorhin genannte.

Was endlich den dritten Punct betrifft, so ist einleuchtend, dass geringe Spuren von Substanzen, welche durch irgend eine Reaction kenntlich sind, dadurch nachgewiesen werden können, dass man sie am Rande eines unbedeckten Tropfens sich ansammeln lässt. Es gelingt z. B. auf diese Weise nachzuweisen, dass kaltes Wasser entweder für sich allein oder mit einem geringen Zusatz von Iodwasserstoffsäure einen kleinen Theil der Flechtenschläuche, sowie auch der Membranen in den Samenlappen von *Hymenaea*, *Mucuna* etc. auflöst.

5. Bewegungen in einer Flüssigkeit, welche durch ungleiches specifisches Gewicht verursacht werden.

wicht enthalten sind oder sich darin entwickeln, so ordnen sie sich selbstverständlich nach ihrem specifischen Gewicht. Oeltropfen und Luftblasen streben daher in einer wässerigen Lösung, wie sie im Zellinhalt gegeben ist, nach oben, Plasmakörper, Stärkekörner und Krystalle dagegen nach unten; beide steigen oder fallen so lange, bis sie auf ein Hinderniss stossen, das ihrer Bewegung ein Ziel setzt. Ein ruhiges Schweben eines festen Körpers im Innern eines Hohlraumes ist folgerichtig nur dann möglich, wenn derselbe durch relativ feste Gebilde (Plasmafäden etc.) in seiner Lage festgehalten wird oder wenn das umgebende Medium nur ein halbflüssiges oder gallertartiges ist. In allen andern Fällen muss er nothwendig dem Gesetz der Schwere folgen, wie man das auch deutlich an schwimmenden Plasmakörnern, Krystallen u. dgl. beobachtet; sie sammeln sich immer, welche Lage man auch einer Zelle geben mag, auf dem Grund derselben. Nur wo Plasmamassen und Chlorophyllkörner unbeweglich am Primordialschlauch adhäriren, bilden dieselben ein zusammenhängendes Wandbeleg, das sich beim Drehen wie eine feste Masse verhält.

Dass es nicht ganz überflüssig ist, dergleichen physikalische Gesetze, wenn sie auch bei Erscheinungen im Grossen Jedem geläufig sind, in einem mikrographischen Werke zu erwähnen, beweist der Umstand, dass man selbst in den neuern mikroskopischen Arbeiten hie und da Darstellungen findet, in welchen gerade diese Gesetze ganz und gar ignorirt werden. Man lässt bewegungslose Körper, welche specifisch schwerer sind als Wasser, auf oder in demselben schwimmen, als ob sich das von selbst verstände; man vergisst dabei, dass die Schwere auch unter dem Mikroskop ihre Herrschaft übt und nur durch eine gleiche, aber entgegengesetzt wirkende Kraft aufgehoben wird. Wenn z. B. Schwärmsporen von *Vaucheria* oder *Ulothrix* an der Oberfläche des Wassers zur Ruhe kommen und keimen, so muss eine solche Kraft im Spiele sein, da ja sonst ein Schwimmen auf dem Wasser nicht denkbar wäre. Dasselbe gilt auch von den einzelligen oder mehrzelligen Algen, welche in membranähnlichen Colonien das Wasser bedecken. In beiden Fällen ist es die Cuticularisirung der Membran und die damit verbundene Capillarwirkung, welche das Untersinken verhindert, und was das Schwimmen im Wasser selbst betrifft, so geschieht es bei bewegungslosen Zellen, wie z. B. bei der Hefe, unter dem Einfluss der Luftblasen, an welchen die Zellen adhäriren, bis sie die Oberfläche erreicht haben.

Sehr schön tritt die Wirkung der Schwere an den Plasmagebilden hervor, welche in der strömenden Zellflüssigkeit der Characeen enthalten sind. Ist die Indifferenzschicht, welche die beiden entgegengesetzten Ströme von einander scheidet, horizontal, der Strömungszirkel also lothrecht gestellt, so senken sich die grössern Körper des untern Stromes nach und nach auf den Grund der Zelle, während diejenigen des obern sich der Indifferenzschicht nähern, zuweilen auch wohl dieselbe durchsetzen und so in den

untern Strom gelangen. Nimmt weiterhin die Indifferenzschicht in Folge der bei den Charen häufigen Drehung allmählig eine verticale Lage an, so dass die beiden Ströme neben einander zu liegen kommen, so sammeln sich die schwereren Körper beiderseits auf dem Grund der Zelle; der obere Theil derselben enthält alsdann nur Flüssigkeit, der untere nur Plasma-gebilde. Wie sich die Wirkungen dieser verschiedenen Lagen in einer längern Zelle, wo sie abwechselnd auf einander folgen, combiniren, mag hier unerörtert bleiben; wir verweisen in diesem Betreff auf die ausführliche Darstellung in den »Beiträgen zur wissenschaftlichen Botanik« von C. Nägeli, II. 1860.

6. Das Saftsteigen.

371 Bei Beurtheilung der Vorgänge, die man als Saftsteigen zusammenfasst, ist vor Allem die Frage zu erörtern, was die bekannten physikalischen Kräfte, die hier in Betracht kommen können, zu leisten vermögen.

Was zunächst die Capillarität betrifft, so wurde oben (S. 367) dargethan, dass die Höhe, bis zu welcher Wasser und wässrige Lösungen in Capillarröhren emporsteigen, auch für die Molecularinterstitien der Membranen im umgekehrten Verhältniss zum Durchmesser stehen dürfte. Es ist Thatsache, dass die capillaren Kräfte, die in diesen Interstitien wirksam sind, einem Drucke von mehreren Atmosphären das Gleichgewicht halten. — Auf der andern Seite wurde gezeigt, dass die Strömung durch capillare Räume über sehr geringe Höhen hinaus nur äusserst langsam von statten geht, so dass die Verluste, welche die Verdunstung verursacht, durch die Wasserzufuhr von unten nicht mehr gedeckt werden. Wo daher Verdunstung und Capillarität zusammenwirken, muss das Flüssigkeitsniveau auf einer Höhe stehen bleiben, in welcher Strömungs- und Verdunstungsgeschwindigkeit einander gleich sind, — und diese Höhe reducirt sich, wenn die Luft nicht allzu feucht ist, auf einige wenige Fuss.

Dass die Capillaranziehung unter solchen Verhältnissen nicht im Stande ist, Bäumen und Sträuchern im Verlaufe der Vegetationsperiode das nöthige Wasserquantum zu liefern, liegt auf der Hand. Das Gewebe müsste, wenn nicht nebenbei noch andere Kräfte wirksam wären, von oben nach unten austrocknen, wie man diess an abgestorbenen Pflanzen auch wirklich beobachtet. Da indess Zustände denkbar sind, in welchen die Verdunstungsgrösse nahezu Null wird, und da eine zeitweise Mitwirkung der Capillarität doch mindestens zugegeben werden muss, so verlohnt es sich immerhin der Mühe, die Leistungsfähigkeit derselben und die Erscheinungen, welche je nach Umständen mit ihrer Wirksamkeit verbunden sind, näher zu prüfen.

372 Es ist zunächst einleuchtend, dass die Flüssigkeit, welche ein System von Capillarräumen durchdringt, nicht nur in den feinen Interstitien, son-

dern auch in beliebig grossen Hohlräumen, die im Innern desselben vorkommen, durch die Capillaranziehung zurückgehalten wird, ganz so, wie diess auch bei weiten Glasröhren der Fall ist, welche oben in eine feine Spitze, beispielsweise mit einer Oeffnung von c. 1—2 Mik., ausgezogen sind. Die Last, welche die capillaren Kräfte unter solchen Umständen zu tragen haben, hängt offenbar bloss von der Höhe der Wassersäule und nicht von ihrem Durchmesser ab.

Anders verhielte es sich freilich, wenn ein mit Luft gefülltes Capillarsystem mit seinem untern Ende in Wasser gestellt würde. Alsdann könnte das letztere in den verschiedenen Theilen des Systems nur bis zu einer Höhe emporsteigen, welche im umgekehrten Verhältniss zum Durchmesser stände, in Zellhöhlungen und andern grössern Räumen also ungleich weniger hoch als in den Molecularinterstitien. Ein solcher Fall lässt sich aber nur mit todtten Geweben verwirklichen; die lebende Pflanze ist von Anfang an mit Saft gefüllt und baut sich im gefüllten Zustande allmählig in die Höhe. Hier ist demzufolge die Capillaranziehung, so lange nicht in Folge der negativen Spannung Luftausscheidung oder Dampfbildung eintritt, vollkommen ausreichend, um ein Sinken der Säfte in allen Theilen des Gewebes zu verhindern. Es ist dagegen selbstverständlich absolut undenkbar, dass dieselbe ein Ausströmen der Säfte aus den obersten Zellen der Gewebe hervorruft.

Wenn neben der Capillaranziehung noch andere Kräfte wirksam sind, 373 welche die Säfte nach oben oder nach allen Seiten gegen die Verbrauchsstellen hin treiben, so müssen zwei Fälle unterschieden werden. Entweder wirken diese Kräfte so intensiv, dass sie einen continuirlichen Druck auf alle Punkte der Oberfläche ausüben und also eine grössere Menge Wasser zu liefern im Stande sind, als durch Verdunstung verloren geht. Das concave Flüssigkeitshäutchen in den Enden der Capillarräume wird alsdann abgeflacht oder sogar nach aussen gewölbt, und die Capillarität bleibt ausser Wirkung. Oder die Verluste sind stärker, als dass diese andern Kräfte sie zu ersetzen vermöchten; dann theilen sich dieselben mit der Capillaranziehung in die Arbeit, und wenn die Gesamtleistung nicht ausreicht, so zieht sich die Flüssigkeit von der Oberfläche zurück, bis in Folge der dadurch verlangsamten Verdunstung das Gleichgewicht wieder hergestellt ist.

Die Arbeit, welche der Capillaranziehung, sie mag nun im Verein mit 374 andern Kräften oder für sich allein wirksam sein, bei der Unterhaltung eines continuirlichen Stromes zufällt, ist natürlich für jedes Niveau von der Grösse der Menisken abhängig, welche in den verschiedenen Punkten des Systems zu Stande kommen. Ist der mittlere Durchmesser dieser Menisken, in Millimetern ausgedrückt, gleich d und folglich die entsprechende Steighöhe c. $\frac{30}{d}$, so wirkt die Capillaranziehung mit einer Kraft, welche dem continuirlichen Druck einer Wassersäule von $\frac{30}{d}$ mm gleichkommt. Sie ver-

grössert dadurch die Strömungsgeschwindigkeit und ruft zugleich Spannungen hervor, wie sie oben (S. 370) für den Gleichgewichtszustand angegeben sind.

Hier drängt sich nun aber die Frage auf, ob diese theoretischen Folgerungen, welche für Capillarröhren von messbarem Durchmesser unzweifelhaft richtig sind, auch für die Molecularinterstitien der Membranen Geltung haben, oder ob in dieser Hinsicht Imbibition und Capillarität zu unterscheiden sind. Ein Zug von mehreren Atmosphären ist allerdings vorhanden und es ist gleichgültig, wie man die Kraft nennt, welche ihn ausübt. Was jedoch die Fortpflanzung der Spannungen betrifft, welche in Folge davon eintreten, so wissen wir hierüber Nichts. Es wäre möglich, dass in den lebenden Membranen Kräfte wirkten, welche jenem Zuge schon auf geringe Entfernung das Gleichgewicht hielten und so die Rückwirkung desselben auf den Zelleninhalt oder auf grössere Zellcomplexe verhinderten. Man kann sich auch vorstellen, dass solche Kräfte gerade in Folge der Spannung frei werden.

Wie dem auch sei, es ist Thatsache, dass Spannungen von mehreren Atmosphären, wie sie nach Maassgabe des capillaren Zuges vorhanden sein müssten, in pflanzlichen Geweben nicht vorkommen, obschon die continuirliche Mitwirkung der Capillarität in jedem dünnen Zweige eines Baumes, an jeder abgestorbenen Stelle eines Blattes etc. zweifellos und bei rascher Verdunstung auch in frischen Geweben mindestens sehr wahrscheinlich ist. Auf irgend eine Weise wird also die Fortpflanzung der Spannungen auf grössere Entfernungen verhindert, und da diess nur durch Kräfte geschehen kann, welche auf die Bewegung der Säfte mit einwirken, so folgt daraus immerhin, dass die Capillaranziehung im Verhältniss zur Gesamtsumme der stromerhaltenden Kräfte eine verschwindend kleine Grösse darstellt und folglich in der Physik des Saftsteigens eine höchst untergeordnete Rolle spielt.

- 375** Eine zweite Kraft, welche unzweifelhaft auf die Bewegung der Säfte Einfluss übt, ist die sogenannte diosmotische oder endosmotische Kraft. Die Arbeit, welche dieselbe zu leisten vermag, ist indess voraussichtlich eine sehr veränderliche Grösse; denn sie hängt sowohl von der Concentration der Säfte, als auch von der Natur der Stoffe ab, die darin gelöst sind. Man wird jedoch das Maximum der möglichen Leistungen erhalten, wenn man von der Annahme ausgeht, die in Lösung vorhandenen Stoffe wirken sämmtlich wie derjenige unter ihnen, welcher erfahrungsgemäss das grösste endosmotische Aequivalent besitzt, nämlich wie Zucker, und wenn man überdiess eine Concentration der Lösung voraussetzt, welche die bei Pflanzensäften beobachtete noch übertrifft. Dieses Maximum der Leistungen ist nun nachweisbar sehr gering.

Der Frühlingssaft des Zuckerahorns, dessen specifisches Gewicht 1,003—1,006 beträgt, würde z. B. vermöge seiner Verwandtschaft zur

Bodenfeuchtigkeit in einem gewöhnlichen endosmotischen Apparat noch nicht einen Meter, der Saft der Weinrebe mit einem specifischen Gewicht von 1,0008—1,0009 keinen halben Meter hoch steigen. Gehen wir also von der Voraussetzung aus, die vegetabilische Zellmembran verhalte sich wie eine thierische Blase, so ergibt sich als Maass der endosmotischen Kraft, selbst wenn dieselbe während des Sommers in Folge der stärkern Concentration der Säfte beträchtlich zunimmt, doch höchstens eine Wassersäule von 5—10 Fuss. Solche Kräfte dürfen im Vergleich mit der Arbeit, welche unsere höchsten Bäume zu leisten haben, geradezu als verschwindend bezeichnet werden.

Betreffend die Concentrationsdifferenzen, welche möglicher Weise zwischen dem Zellsaft und dem Imbibitionswasser der Membranen bestehen, sowie ferner die Concentrationsveränderungen, welche beim Durchgang der Säfte durch vegetabilische Membranen stattfinden, so haben wir nicht nöthig, diese Punkte noch besonders in Betracht zu ziehen, da sie im Vorhergehenden bereits ihre Erledigung gefunden. Wenn die grössten Concentrationsdifferenzen, die überhaupt in der Pflanze vorkommen, unter den günstigsten Verhältnissen nur eine Kraft repräsentiren, die einer Wassersäule von 5—10 Fuss das Gleichgewicht hält, so ist an und für sich klar, dass die kleinern Variationen, die im Gewebe stattfinden, den Gesamteffect nicht erhöhen und folglich zu vernachlässigen sind.

Unsere Voraussetzung, dass die Zellmembran sich wie eine thierische Blase verhalte, ist übrigens für das Endergebniss keineswegs entscheidend. Denn die lebende Pflanze ist nur zur Zeit des Blutens, wenn der Saft in die Gefässe hineingepresst wird, gewissermaassen mit einem Endosmometer vergleichbar; während der übrigen Zeit findet die Saftbewegung von Zelle zu Zelle und zwar in den oberirdischen Theilen durch Membranen hindurch statt, welche im Allgemeinen unter sich übereinstimmen. Setzen wir nun gleich den extremen Fall, dass diese Membranen den im Zellsaft gelösten Zucker gar nicht durchlassen, so muss der hydrostatische Druck in jeder Zelle, welcher von unten Wasser zufließt, so lange steigen, bis er dem Filtrationswiderstand der Membran für Wasser das Gleichgewicht hält. Sobald diese Höhe erreicht ist, tritt ein stationärer Zustand ein, in welchem weder Flüssigkeit aufgenommen noch abgegeben wird. Eine Weiterbeförderung des Wassers von unten nach oben findet also in diesem stationären Zustande ebensowenig statt, als vor Erreichung desselben.

Zur Bestätigung dieser Schlussfolgerung kann folgendes Experiment dienen. Eine mit Zuckerlösung gefüllte und an beiden Enden mit möglichst gleich starken porösen Membranen (z. B. mit Schweinsblase) verschlossene Glasröhre wird so in Wasser gestellt, dass das obere Ende frei vorsteht. Das Wasser dringt alsdann durch die untere poröse Membran ein und bewirkt eine gewisse Spannung des Röhreninhalts; aber niemals wird Wasser durch die obere Membran herausgepresst.

376 Nach den bisherigen Erörterungen reicht also die Gesamtarbeit der Capillarität und Diosmose im Maximum bis zu einer Höhe von einigen Metern, d. h. sie ist gerade ergiebig genug, um eine safterfüllte Pflanze von dieser Höhe im gefüllten Zustande zu erhalten. Dass diese Arbeitsgrösse zur Erklärung des Saftsteigens in unsern Bäumen nicht ausreicht, ist ohne Weiteres klar. Hier müssen also nothwendig noch andere Kräfte wirksam sein, welche den Rest der zu verrichtenden Arbeit übernehmen, und wenn solche Kräfte den hohen Gewächsen zukommen, so ist die Annahme gerechtfertigt, dass sie auch bei weniger hohen vorhanden seien. Uebrigens deutet eine Reihe von Erscheinungen, die wir unten spezieller bezeichnen werden, darauf hin, dass diese Annahme eine thatsächlich begründete ist.

Ueber den Sitz der fraglichen Kräfte sind von vorne herein verschiedene Ansichten denkbar, von denen jedoch eine einzige mit den bereits erwähnten thatsächlichen Spannungsverhältnissen vereinbar ist. Wollte man z. B. annehmen, jene Kräfte haben ihren Sitz in den Wurzeln, so würde natürlich das ganze Gewicht des emporgetriebenen Saftes auf der Unterlage ruhen, ganz so, wie es bei einer Röhrenleitung der Fall ist, welche die obern Stockwerke eines Hauses mit Wasser versieht. In einem Baum von 180—200 Fuss Höhe müsste alsdann der hydrostatische Druck des Zellsaftes in der Nähe der Basis c. 6 Atmosphären betragen. Die Messungen, die man bis jetzt über diesen Druck angestellt hat, ergeben indess, wie bereits früher erwähnt, durchschnittlich so geringe Ziffern, dass man geradezu sagen kann, der hydrostatische Druck des Zellsaftes sei in der Regel vom äussern Luftdruck nur wenig verschieden und zwar bald etwas grösser, bald aber auch kleiner als derselbe. Eine Ausnahme hievon bildet nur die Periode des Thränens, weil alsdann die safterfüllten Gefässe auch das umgebende Gewebe unter einen der Höhe der Wassersäule entsprechenden Druck versetzen. In diesem Ausnahmefalle ist allerdings nicht zu bezweifeln, dass die Kräfte, welche jener Wassersäule das Gleichgewicht halten, in der Würzel ihren Sitz haben.

Versetzt man dagegen die bewegenden Kräfte in die Blätter oder überhaupt in die obern Enden der Bäume, so stösst man hiemit schon beim ersten Schluss auf die nämliche Ungereimtheit, wie bei der Capillarität: die negativen Spannungen müssten in grössern Höhen einen Grad erreichen, welcher in Wirklichkeit nie vorhanden ist.

Denselben Widersprüchen begegnet man, wenn auch in geringerem Grade, auch dann, wenn man die Kräfte in verschiedenen Höhen, jedoch in ziemlicher Entfernung von einander, wirken lässt. Es bleibt also nichts Anderes übrig, als dieselben auf zahlreiche, nahe liegende Punkte zu vertheilen, und da kein Grund vorliegt, sie auf bestimmte Zellen im Gewebe zu concentriren, so erscheint es am natürlichsten, jede einzelne saftführende Zelle damit auszustatten. Nur wenn die Arbeit des Baumes sich auf alle Zellen gleichmässig vertheilt, sind die geringen Spannungen, wie sie in der

Pflanze vorkommen, erklärlich. Man begreift dann auch, dass unter Umständen sogar ein Ausfliessen der Säfte in Höhen von 50 Fuss und darüber, wie man es beispielsweise bei Nectarien und hie und da auch bei Blättern beobachtet, stattfinden kann, sowie andererseits, dass gewisse Zellen durch entgegengesetzt wirkende Kräfte die Säfte nach unten oder bei horizontal liegenden Pflanzen rückwärts gegen die Wurzeln hintreiben, und dass gegenläufige Ströme sogar bei Zellen gleicher Art, wie z. B. bei Siebzellen, vorkommen können.

Gewisse Erscheinungen deuten überdiess in directer Weise darauf **377** hin, dass eine saftbewegende Kraft, unabhängig von der Capillarität, der Verdunstung und Diosmose, in den Zellen thätig ist, und dass sie sogar in abgeschnittenen Zweigen und Zweigstücken noch einige Zeit fortwirkt. Nägeli*) beobachtete diess z. B. bei Kartoffeln, welche der allmählichen Verdunstung ausgesetzt waren. Das Eintrocknen schreitet hier in sehr augenfälliger Weise von unten nach oben fort; das Gewebe erscheint am Grunde bald runzelig und weich, während es am Scheitel noch längere Zeit frisch und saftig bleibt und die Knospenanlagen zur Entwicklung bringt. Ebenso ist längst bekannt, dass Sprosse von sogenannten Fettpflanzen, denen die Wasserzufuhr abgeschnitten ist, an der Spitze fortwachsen und Blätter treiben, indess sie am Grunde vertrocknen und absterben. Solche Erscheinungen lassen sich nicht etwa auf einen vorwiegenden Wasserverlust in der Scheitelregion zurückführen, weil dadurch selbstverständlich nur eine Strömung hervorgerufen würde, die eine gleichmässige Vertheilung des Wassers, nicht aber die Anhäufung des ganzen Vorrathes an der Verdunstungsstelle zur Folge hätte.

Welcher Natur die Kraft sei, die diese Wirkungen hervorruft, ist nicht bekannt. Nachdem es jedoch feststeht, dass elektrische Ströme ähnliche Bewegungen in Flüssigkeiten hervorrufen, dass sie den diosmotischen Strom verlangsamen oder beschleunigen können u. s. w., so liegt die Vermuthung nahe, es möchten auch hier solche Ströme im Spiele sein.

Zum Schlusse sei noch bemerkt, dass wir im Vorhergehenden nur die **378** mechanische Seite der Saftbewegungen im Auge hatten. Die Wanderung der Stoffe im Allgemeinen ist damit keineswegs erschöpft. Es giebt eine Reihe von Erscheinungen, die zu neuen und interessanten Fragen Veranlassung geben, auf die wir aber hier nicht eingehen können. Wenn z. B. die Stärke, die sich den Sommer über in den Blättern der Bäume gebildet, im Herbst, nachdem die Neubildungen bereits aufgehört haben, in gelöster Form den Stammtheilen und Wurzeln zugeführt und hier in Körnerform wieder aufgespeichert wird, so ist diess nicht etwa als eine mechanische Fortschaffung einer Lösung zu betrachten, aus welcher sich später die Körner wieder ausscheiden; denn die Zellen des Stammes und der

*) Sitzungsber. d. k. bayer. Akad. d. Wiss. Vortr. vom 9. Febr. 1864.

Wurzel, die den Winter über Stärke führen, waren ja vorher mit Saft gefüllt und folglich ausser Stande, eine zuströmende Flüssigkeit aufzunehmen. Es findet hier vielmehr eine Wanderung der Stärkeatome nach unten statt, indess die Flüssigkeit, deren Stelle sie später einnehmen, sich nach oben zurückzieht. Dieses eine Beispiel mag genügen, um die Schwierigkeiten, die eine Alles umfassende Theorie der Stoffwanderung zu überwinden hat, wenigstens anzudeuten.

7. Strömungen durch Capillarröhren und Membranen.

379 Die Geschwindigkeit, mit welcher Flüssigkeiten durch eine Röhrenleitung fliessen, nimmt bekanntlich von der Innenfläche der Röhre nach der Mitte hin zu. Der mittlere Werth derselben, wie er aus der Ausflussmenge bestimmt wird, hängt von der Grösse der wirkenden Kraft, der Länge und Dicke der Röhre, sowie ferner von der Adhäsion zwischen Wandung und Flüssigkeit und von den Temperaturverhältnissen ab (s. Eisenlohr, Lehrb. d. Phys. S. 412). Die Anwendung der hierauf bezüglichen Gesetze auf Erscheinungen im Pflanzenleben betreffend, sei hier nur bemerkt, dass das Strömen der Pflanzensäfte in Milchsaftegängen, Gefässen und andern Capillarsystemen Vorgänge sind, die sich den in der Hydrodynamik gültigen Formeln in mancher Beziehung nicht fügen, weil diese Formeln eine gewisse, nicht unbeträchtliche Grösse des Querschnittes voraussetzen, die hier nicht gegeben ist. Noch am ehesten liesse sich der Strömungsvorgang in Gefässen nach den mit Glasröhren von c. 0,1^{mm} Durchmesser angestellten Untersuchungen beurtheilen. Poiseuille gelangte hiebei auf empirischem Wege zu der Formel:

$$Q = 1836,724 (1 + 0,0336793 T + 0,0002209936 T^2) \frac{H D^4}{L},$$

in welcher Q das in einer Secunde ausgeflossene Wasserquantum in Kubikmillimetern, H die stromerhaltende Druckhöhe in Quecksilber bei 0°, D den Durchmesser und L die Länge der Röhre, alles in Millimetern gemessen, bezeichnet. Der in Parenthesen stehende Ausdruck bestimmt die Correction für verschiedene Temperaturen T in Centesimalgraden.

Da die in der Zeiteinheit ausfliessende Wassermenge durch $\frac{v D^2 \pi}{4}$ ausgedrückt wird, wenn v die Stromgeschwindigkeit bedeutet, so lässt sich die obige Formel auf die einfachere zurückführen:

$$v = \frac{H D^2}{L} \times \text{Const.},$$

worin jedoch die Correction für verschiedene Werthe von T vernachlässigt ist. Setzt man $T = 15^\circ$, so wird $\text{Const.} = \frac{4}{\pi} \cdot 1836,724 \cdot 1,5549 = 3636,3$, und man hat:

$$v = 3636,3 \frac{H D^2}{L}.$$

Die Stromgeschwindigkeit ist hienach der Druckhöhe H und dem Quadrate des Durchmessers direct, der Röhrenlänge L umgekehrt proportional. Als absoluter Werth von v ergibt sich z. B. für eine Röhre von 100 Mik. Durchmesser und 3,6363 Meter Länge, wenn die Druckhöhe zu 760^{mm} angenommen wird, eine Geschwindigkeit von 7,6^{mm} auf die Secunde *). Hierbei ist jedoch die Capillarröhre horizontal zu denken; wäre sie vertical, so müsste obige Druckhöhe selbstverständlich um eine Grösse gesteigert werden, welche der Flüssigkeitssäule in der Röhre nach hydrostatischen Gesetzen das Gleichgewicht hielte, also im gegebenen Falle um 3,6363 Meter in Wasser oder c. 267^{mm} in Quecksilber. Man ersieht hieraus, wie bedeutend die Kraft sein müsste, welche im Stande wäre, in Gefässen von 36 Meter Länge und darüber, wie sie bei hohen Bäumen und Schlingpflanzen wirklich vorkommen, eine Stromgeschwindigkeit von nur 0,4^{mm} per Secunde hervorzurufen.

Gehen wir jetzt von diesem einfachen Fall zu dem im Pflanzenreiche 380 gewöhnlicheren über, dass die capillaren Röhren, in welchen die Flüssigkeiten strömen, durch zahlreiche Membranen, d. h. durch Systeme von ungleich feinern Capillarräumen unterbrochen sind, so haben wir es hier mit einer Erscheinung zu thun, deren Gesetze noch fast gar nicht näher bekannt sind. Soviel ist indess sicher, dass solche Unterbrechungen als neu hinzukommende Widerstände zu betrachten sind, welche demnach zu den Reibungswiderständen in ununterbrochenen Capillarröhren addirt werden müssen. Die stromerhaltende Kraft muss also jedenfalls beträchtlich grösser sein als in dem vorhin besprochenen Falle, und die wenigen That-sachen, die man hierüber kennt, beweisen, dass sie unter Umständen eine enorme Höhe erreicht. Es bedurfte z. B. volle 4 Stunden, um durch einen aus frischem Tannenholz der Länge nach herausgeschnittenen Pfropf von 40^{mm} Länge eine Wassersäule von 70^{mm} und gleichem Querschnitt, welche unter dem Druck einer Quecksilbersäule von 760^{mm} stand, hindurch zu pressen. Diess ergibt selbst für den Fall, dass der Querschnitt der strömenden Flüssigkeit im Pfropf nur $\frac{1}{10}$ des Gesamtquerschnittes betrüge, die immerhin sehr geringe Geschwindigkeit von c. $\frac{1}{21}$ ^{mm} per Secunde für den Druck einer Atmosphäre.

Andere Versuche, die wir mit quer herausgeschnittenen Pfropfen und mit solchen aus parenchymatischen Geweben anstellten, wobei ebenfalls eine Wassersäule von nahezu gleichem Querschnitt durch den Pfropf gepresst wurde, ergaben noch viel kleinere Ziffern. Die Resultate sind in folgender Uebersicht zusammengestellt.

*) Nach unsern Versuchen über die Strömung der Luft durch Capillarröhren bewegt sich dieselbe unter übrigens gleichen Umständen c. 60 mal rascher als das Wasser. Die Strömungsgeschwindigkeit ist wie bei Flüssigkeiten der Druckhöhe und dem Quadrate des Durchmessers direct, der Röhrenlänge umgekehrt proportional. (Sitzungsber. der k. bayer. Akad. d. Wiss. 1866.)

Pfropf von	Länge des Pfropfs in Millim.	Quecksilberdruck in Millim.	Strömungsgeschwindig- keit per Stunde, in Millim.
Buchenholz	45	500	0,03
Kartoffelparenchym	32	576	0,45
Runkelrübe	38	520	2—2,5
Apfelparenchym	30	400	2—3

Bei diesen Versuchen wurde der aus Buchenholz geschnittene Pfropf in die Glasröhre eingekittet, die übrigen dagegen in eine der Glasröhre aufgesetzte, dickwandige Kautschukröhre eingezwängt und mit seidenen Bändern umwickelt. Der so erzielte Verschluss war jedenfalls ziemlich gut; doch lässt sich die Möglichkeit, dass vielleicht ein Theil des Wassers zwischen Pfropf und Kautschukwandung durchsickerte, nicht bestreiten. Die wirklichen Stömungsgeschwindigkeiten sind daher wahrscheinlich noch kleiner, als die in der Uebersicht angegebenen, und es dürfte ganz allgemein eher zu hoch als zu tief gegriffen sein, wenn man dieselben für safterfüllte dünnwandige Gewebe bei ungefähr gleicher Dicke (c. 30^{mm}) und für den Druck einer Atmosphäre auf c. 2,5—3,6^{mm} per Stunde veranschlagt, was auf die Secunde im höchsten Fall einen Mikromillimeter ausmacht. In Geweben mit unlöslichem Zelleninhalt und mit dicken Wandungen ist natürlich *ceteris paribus* die Strömungsgeschwindigkeit noch kleiner und somit die Kraft, welche zur Hervorbringung einer namhaften Strömung erforderlich ist, noch beträchtlich grösser. *)

Die Frage, wo eine so bedeutende stromerhaltende Kraft zu suchen sei, wird natürlich durch vorstehende Erörterungen in keiner Weise berührt. Es sollte bloss nachgewiesen werden, dass eine solche Kraft, wo sie immer ihren Sitz haben mag, angenommen werden muss, um das Strömen durch pflanzliche Gewebe zu erklären.

- 381 Die Verschiedenheiten betreffend, welche möglicherweise hinsichtlich der Durchlässigkeit der (nicht cuticularisirten) Zellmembranen für wässrige Flüssigkeiten vorkommen, so geben die bisherigen Beobachtungen hierüber so gut wie keinen Aufschluss. Es ist jedenfalls unzulässig, aus der grössern Stromgeschwindigkeit, welche beispielsweise den im Holzkörper strömenden Säften im Vergleich mit denen der Rinde zukommt, auf eine grössere Durchlässigkeit der Zellmembranen des Holzes zu schliessen, da die vorausgesetzte Beziehung zwischen Stromgeschwindigkeit und Permeabilität offenbar nur dann besteht, wenn die Kraft, welche die Strömung

*) Die neuerdings von Wiesner ausgeführten Versuche »über die Bewegung des Imbibitionswassers im Holze und in der Membran der Pflanzenzelle« (Sitzgsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien, Bd. 72, Jahrg. 1875) ergaben für die Strömungsgeschwindigkeit viel grössere Ziffern, z. B. für das frische Holz von *Celtis australis* per Secunde = 0,886^{mm} bei 170^{mm} Länge, was auf 30^{mm} Länge bei gleicher stromerhaltender Kraft 5^{mm} per Secunde ausmachen würde. Bei diesen Versuchen wurde indess die Wasserströmung durch Verdunstung an der obern Fläche des betreffenden Holzstückes hervorgerufen. Die Grösse der stromerhaltenden Kraft ist somit unbekannt; sie müsste, wenn obige Ziffern mit den unsrigen vergleichbar sind, eine enorme Höhe erreichen.

unterhält, überall dieselbe ist, wie diess z. B. der Fall wäre, wenn die Emporschaffung der Säfte durch den Auftrieb der Wurzeln oder durch die an den obern Enden wirkende Capillarität stattfände. Sobald aber Kräfte, welche in den einzelnen Zellen ihren Sitz haben, sich bei dieser Arbeit betheiligen, wie es nachweisbar geschieht, wird natürlich jede auf die Stromgeschwindigkeit basirte Vergleichung der Permeabilität der Gewebe durchaus unstatthaft.

Die von Hofmeister (Flora 1862) ausgesprochene Ansicht, dass die Membranen lebender Holzzellen in weit höherem Grade permeabel seien, als die des saftreichen Parenchyms der Rinde, so dass die letztere den im Holzkörper aufsteigenden Saftstrom gleichsam eindämmen würde, findet in dem Vorhergehenden ihre Beleuchtung. Den weitern Angaben, dass die Permeabilität durch Kochen und Trocknenlassen vermindert werde, können wir schon desswegen kein Gewicht beilegen, weil die von Hofmeister im frischen Zustande beobachtete Strömungsgeschwindigkeit ganz entschieden darauf hinweist, dass mindestens $\frac{9}{10}$ der durchgegangenen Wassermenge den Weg durch gröbliche Räume (offene Poren u. dgl.), nicht durch Micellarinterstitien, genommen haben*). Die theilweise Verstopfung dieser Räume in Folge der Quellung, welche ein »wiederholtes und anhaltendes Kochen« bedingen musste, vielleicht auch in Folge der Coagulation von Eiweissverbindungen, ist ohne Zweifel die einzige Ursache der verminderten Durchlässigkeit im gekochten Zustande.

Ein fernerer Punct, welcher für das Verständniss der Strömungen **382** wichtig, ist das Verhalten von Capillarröhren, in welchen kurze Flüssigkeitssäulen mit Luftblasen abwechseln. Hier erreicht der Widerstand, welcher dem Durchgang der Flüssigkeit entgegensteht, eine um so beträchtlichere Grösse, je zahlreicher die Luftblasen. Durch Häufung der letztern in einer sehr engen capillaren Röhre brachte es Jamin dahin, dass ein Druck von drei Atmosphären auf die eine Oeffnung der Röhre nur auf der zugekehrten Seite der Tropfenreihe eine Bewegung derselben zur Folge hatte, während die am weitesten abstehenden Flüssigkeitssäulen selbst nach 14tägiger Einwirkung nicht die geringste Verschiebung zeigten. Die bewegende Kraft nimmt also hier sehr rasch von Tropfen zu Tropfen ab und wird endlich Null. Der Widerstand, welchen die einzelnen Tropfen dem Drucke entgensetzen, ist um so grösser, je enger der capillare Raum, dabei aber unabhängig von der Länge derselben.

Diese Thatsachen erklären zur Genüge, warum die in den Holzzellen enthaltene Luft, trotz der offenen Verbindungen durch die Porenkanäle,

*) Hofmeister giebt an (l. c. p. 439), dass ein Holzstück von 43^{mm} Länge und 41,5^{mm} Dicke im frischen Zustande unter dem Drucke von 330^{mm} Wasser per Stunde 40,6 Cub. Cent., d. i. eine Wassersäule von circa 400^{mm} Länge und gleichem Querschnitt durchfiltriren liess — eine Stromgeschwindigkeit, die nach unsern Versuchen ohne die Mitwirkung gröblicher Räume geradezu undenkbar ist.

vom Saftstrom niemals gänzlich verdrängt oder in die Gefässe hinein getrieben wird, vielmehr theilweise in den Zellen zurückbleibt, obschon der Saft zur Zeit des Thränens unter einem hohen Drucke steht.

Anmerkung. Die Bedeutung der offenen Poren liegt darin, dass sie den Transport ungelöster Stoffe möglich machen und den Austausch der Gase erleichtern. Der Primordialschlauch wird durch das Offensein der Poren in seiner Lebensthätigkeit nicht gestört, wofür namentlich die Siebröhren schlagende Beispiele liefern.

8. Die Plasmaströmungen.

383 Die Bewegungserscheinungen, die man am Plasma der Pflanzenzellen beobachtet, sind in neuester Zeit sowohl von Botanikern als Zootomen vielfach untersucht und mit analogen thierischer Organismen verglichen worden. Es ergab sich hiebei eine so auffallende Uebereinstimmung mit der thierischen »Sarkode«, dass man diese Benennung für die contractile Substanz der Thierzelle aufgab und dafür die in der Botanik übliche Bezeichnung Protoplasma auch auf jene ausdehnte. Inwieweit nun diese Identificirung gerechtfertigt sei, mag hier unerörtert bleiben; wir wollen nur constatiren, dass sie vorläufig mehr auf den übereinstimmenden Eindruck der Lebensäusserungen im Allgemeinen, als auf die spezielle Auffassung und Deutung derselben gegründet ist, da in dieser letztern Hinsicht die Anschauungen in wesentlichen Punkten differiren.

Gewöhnlich schreibt man den Plasmapländern oder Plasmamassen, welche die fraglichen Erscheinungen zeigen, eine fliessende Bewegung zu, wobei die in das Plasma eingebetteten Körnchen, deren Ortsveränderungen wir direct beobachten, mit fortgerissen würden, wie die Schlammtheilchen eines Flusses von dem strömenden Wasser. Brücke*) erkennt dagegen die sogenannten Plasmaströmchen nicht als solche an; er unterscheidet vielmehr eine zweifache Bewegung: eine langsame ziehende oder kriechende Contractionsbewegung des Plasmakörpers, von der die Veränderungen in der Anordnung der Hervorragungen herrühren, und eine schnell fliessende, die sich in der Bewegung der Körnchen ausspricht. Nach ihm ist das Protoplasma überhaupt ein contractiler Körper, und in diesem Falle wird derselbe durchströmt von einer körnerreichen Flüssigkeit. De Bary**) hält diese Annahme für unwahrscheinlich. Er bezweifelt, dass sich an dem Object, welches Brücke zu seinen Beobachtungen gewählt hatte, nämlich an den Brennhaaren der Nessel, überhaupt entscheiden lasse, ob eine oder zweierlei Bewegungen vorhanden seien. An günstigeren Objecten, den Staubfadenhaaren von Tradescantia, will er dagegen beobachtet haben, dass die Hervorragungen der Plasmastreifen sich eben so schnell in der Strö-

*) Brücke, die Elementarorganismen. Sitzungsab. d. k. k. Akad. in Wien 1862. Bd. XLIV, p. 384.

**) Flora 1862, p. 249.

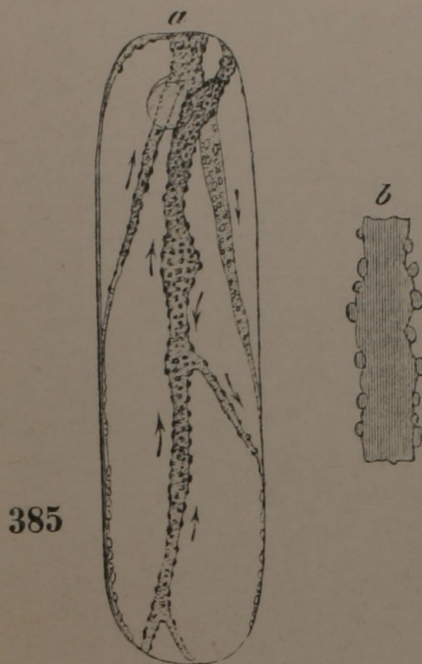
mungsrichtung fortbewegen, wie die Körnchen im Innern derselben. Wenn hier und da zwei gegenläufige Bahnen, die hart aneinander grenzen, in demselben Streifen vorkommen, so beweise diess weiter Nichts, als dass die fließenden Contractionsbewegungen des Plasmas gleichzeitig nach entgegengesetzten Richtungen vor sich gehen können und dass die ruhende Partie zwischen den entgegengesetzten Strömen zu schmal sei, um noch gesehen zu werden. De Bary vertheidigt also die herkömmliche Deutung der Körnchenbewegung, wonach dieselbe hervorgebracht würde durch strömendes Plasma. Dagegen hat sich in neuester Zeit Hanstein*) abermals zu Gunsten der Brücke'schen Ansicht ausgesprochen und dabei namentlich betont, dass die Plasmaströme stets von einer zarten Membran umhüllt seien, welche bei der Berührung der Strombänder unter sich oder mit dem Primordialschlauch jene eigenthümlichen Spannungscurven erzeuge, wie sie zwischen den Oberflächen netzartig verbundener gezerrter Bänder entstehen müssen. Hierauf gestützt nimmt Hanstein ebenso wie Brücke zweierlei Bewegungen an: das Strömen einer Körnchen führenden Flüssigkeit und die davon verschiedene langsame Bewegung der membranartigen Hülle.

Wir können uns weder der einen noch der andern Ansicht ganz anschließen. Dass die Hervorragungen der Plasmastreifen mit gleicher Schnelligkeit fortrücken wie die Körnchen, kommt bei den Haaren der Tradescantien allerdings nicht selten vor, ist jedoch keineswegs durchgreifende Regel. Fast eben so häufig beobachtet man auch das entgegengesetzte Verhalten, welches die Brücke'sche Unterscheidung zwischen Plasmabewegung und Körnerbewegung rechtfertigt. Die Formverhältnisse der Plasmastreifen (Verdickungen, Verzweigungsstellen etc.) können in der That 10 Minuten lang und darüber ziemlich unverändert bleiben, indess die Körnchen in rascher Bewegung, den Ausbiegungen der Umrisse folgend, vorüberströmen. Oder es kann eine augenfällige, scheinbar kriechende Bewegung der Plasmastreifen stattfinden, welche zuweilen die Geschwindigkeit der Körnchen erreicht, in der Regel jedoch weit hinter denselben zurückbleibt. Die zweierlei Bewegungen sind also wirklich vorhanden; es ist diess eine unzweifelhafte Thatsache, von der sich Jeder, der eine hinreichende Zahl von Fällen untersucht, leicht überzeugen kann.

Damit ist aber die Brücke'sche Ansicht noch keineswegs bewiesen. Wenn die Körnchen von einer strömenden Flüssigkeit fortgerissen würden, so müssten dieselben doch wohl im Innern der Plasmastreifen enthalten sein, sei es nun in wenigen grossen oder in vielen kleinen Kanälchen. Die Profilansicht zeigt aber, dass die Körnchen im Gegentheil vorzugsweise an der Oberfläche liegen, indem sie an der Umrisslinie in einer der Flächenansicht entsprechenden Zahl auftreten, und dass sie hier deutlich nach

*) Sitzungsberichte der niederrheinischen Gesellschaft in Bonn, 1870.

aussen hervorragen, als ob sie an das Plasma angedrückt wären (Fig. 214; *b* ein Plasmaband in der Durchschnichtsansicht). Ja es erscheint sogar zwei-



Figur 214.

felhaft, ob bei *Tradescantia* im Innern der Plasmabänder überhaupt Körnchen vorkommen; jedenfalls ist ein directes Beobachten derselben bei mittlerer Einstellung wegen der Kleinheit der Niveaudifferenzen zwischen der zu- und abgekehrten Fläche nicht leicht möglich. Uns scheint das Vorkommen der Körnchen im Innern der Plasmabänder, soweit die directe Beobachtung hier ein Urtheil erlaubt, unwahrscheinlich, und als vollkommen sicher betrachten wir es, dass weitaus die grössere Zahl derselben an der Oberfläche des Plasmas dahingleitet.

Die Beobachtung zeigt ferner, dass die Bewegung der Körnchen keine ganz gleichmässige ist. Man sieht deutlich, wie die relativen Abstände derselben während der Bewegung sich ändern, wie ein Körnchen hie und da etwas verzögert und in Folge dessen von einem nacheilen-

den eingeholt wird, wie dann das letztere bald vorausseilt, bald wieder zurückbleibt, bald auch eine Zeit lang mit dem andern in Berührung bleibt u. s. w. Gerade die Körner, welche bei mittlerer Einstellung an den Rändern der Plasmabänder hingleiten, zeigen diese Unregelmässigkeiten der Bewegung auf das Deutlichste. Nach der Brücke'schen Auffassung der Strömungserscheinungen ist nun aber eine befriedigende Erklärung dieser Thatsache nicht möglich. Die Annahme, dass die Körnchen, welche von der strömenden Flüssigkeit fortgeführt werden, an den Plasmawänden der Strömungscanäle sich reiben und dadurch mehr oder weniger verzögert werden, hätte zwar für das Innere eines Plasmabandes Manches für sich; allein da die Bewegung in gleicher Weise auch an der Oberfläche, ja wahrscheinlich nur an der Oberfläche stattfindet, so verliert dadurch die Vorstellung einer das Plasma durchströmenden Flüssigkeit mindestens an Plausibilität. Sie wird vollends unhaltbar, wenn man erwägt, dass Körner, welche viel dicker sind als die Plasmafäden, an denen sie dahingleiten, dieselben Erscheinungen zeigen wie diejenigen grosser Plasmabänder. Sie adhäriren an der Oberfläche des Fadens und bewegen sich darauf fort, wie ein Seiltänzer auf seinem Seil. An eine strömende Flüssigkeit, welche die Körner mit fortschleppt, ist hier gar nicht zu denken.

Unseres Erachtens hat die Bewegung der Körnchen, soweit sie eine selbständige ist, am meisten Aehnlichkeit mit den Glitschbewegungen, wie man sie bei den Desmidiaceen, z. B. bei *Closterium*, beobachtet.*) Man

*) Vgl. Nägeli, Pflanzenphysiol. Untersuch. I.

sieht hier, wie einzelne der Körnchen, welche in den bekannten Polarräumen Zitterbewegung (sogenannte Molecularbewegung) zeigen, sich an die Innenfläche des Primordialschlauches anlegen und auf dieser Innenfläche bis gegen die Mitte der Zelle oder bis zum gegenüberliegenden Pol fortglitschen. Die motorischen Kräfte, welche bei freischwebenden Körperchen die Zitterbewegung hervorrufen, weil ihre Resultirende jeden Augenblick eine andere Richtung erhält, werden also hier durch den Contact der Körnchen mit Plasma soweit modificirt, dass sie eine in gleicher Richtung fortschreitende Bewegung bedingen. Es liegt nun sehr nahe, die Körnchenbewegung in den Tradescantienhaaren einer ähnlichen Ursache zuzuschreiben, vorausgesetzt, dass die Körnchen, wie es wahrscheinlich ist, der Oberfläche der Plasmabänder aufsitzen. Die Erscheinung wäre also hienach aufzufassen als die Wirkung von Kräften, welche in den Körnchen selbst ihren Sitz haben, und welche hinreichend stark sind, um die Reibungswiderstände der anliegenden Medien zu überwinden.

Auf ein ähnliches Spiel von Kräften muss auch die eigenthümliche **386** Bewegung des Plasmas zurückgeführt werden. Es kann Niemanden befriedigen, Lebensäusserungen, wie die in Frage stehenden, unter die Rubrik der Contractilitätserscheinungen gestellt zu sehen, aus dem einfachen Grunde, weil damit eigentlich gar Nichts erklärt ist, zumal der Begriff der Contractilität, wie er bei Plasmagebilden angewendet wird, bis jetzt der Klarheit und Fassbarkeit entbehrt. Hält man an der ursprünglichen, dem Sprachgebrauche conformen Fassung des Begriffes fest, so bedeutet Contraction einer organisirten Substanz nichts Anderes, als eine Annäherung ihrer festen Theilchen — ein Vorgang, welcher natürlich nur denkbar ist, wenn entweder Wasser aus den Micellarinterstitien austritt, oder wenn die Substanz sich senkrecht zur Contractionsrichtung ausdehnt. Im einen wie im andern Falle können Strömungen in einer halbflüssigen Substanz in Folge von Contractionen nur dann entstehen, wenn dieselbe in einer verhältnissmässig festen Röhre eingeschlossen ist und wenn die letztere sich entweder an einer bestimmten Stelle, ähnlich wie im Kreislauf des Blutes das pulsirende Herz, abwechselnd contrahirt und expandirt oder aber nach einer bestimmten Richtung wellenartig fortschreitende Pulsationen zeigt.

Von solchen Pulsationen ist nun aber an den strömenden Plasmafäden nichts zu sehen, und was die peripherische Hülle betrifft, welche man allfällig als relativ feste Röhre betrachten könnte, so ist dieselbe allerdings etwas dichter und membranähnlich; sie besteht aber nichtsdestoweniger aus einer halbflüssigen, selbst in Bewegung begriffenen Substanz, die bei der Vereinigung zweier Plasmafäden mit einer andern ähnlichen Substanz zusammenfließt. Unter solchen Verhältnissen kann durch Contraction nicht wohl eine Strömung des Plasmas hervorgerufen werden.

Vom mechanischen Gesichtspuncte aus betrachtet, fehlt also der Con- **387**

tractilitätstheorie, wie man sieht, die eigentliche Begründung. Was nun noch die physiologische Seite des Vorganges betrifft, worauf in neuester Zeit vorzugsweise Gewicht gelegt wurde, wir meinen das Verhalten des strömenden Plasmas zum galvanischen Strom, so will uns auch hier nicht einleuchten, dass die beobachteten Thatsachen zu den Folgerungen berechtigen, die man daraus gezogen hat. Die Versuche, die wir selbst mittelst eines kleinen Inductionsapparates, welcher durch ein Bunsen'sches Zinkkohlenelement getrieben wurde, mit verschiedenen Objecten (*Vallisneria*, *Chara*, *Tradescantia*) angestellt haben, und die Vergleichung der erzielten Effecte mit der Wirkung chemischer Reagentien, bestärkten uns vielmehr in der Ueberzeugung, dass man es im einen wie im andern Falle mit Lebensstörungen, resp. mit Erscheinungen des Absterbens zu thun hat, deren Verlauf zwar theilweise von der Natur des Reagens abhängig ist, die aber dessenungeachtet im Allgemeinen übereinstimmen. Die erste Wirkung einer beliebigen störenden Ursache besteht immer darin, dass die Bewegung der in das Plasma eingebetteten Körnchen aufhört. Manche Reagentien, wie z. B. Iodlösung, rufen überhaupt keine weiteren Veränderungen (ausser der Färbung) hervor, wenigstens nicht bei *Tradescantia*, deren Staubfädenhaare wir hier vorzugsweise im Auge haben. Bei Anwendung von Alkalien oder Säuren, desgleichen unter dem Einfluss elektrischer Schläge, kommen dagegen noch mehr oder minder auffallende Formveränderungen des Plasma's hinzu, welche bald in tropfenartigen Auftreibungen, bald in der Vereinigung und Abrundung vorher getrennter Plasmamassen bestehen.*) Sehr eigenthümlich ist namentlich die Wirkung des Ammoniaks. Dasselbe bedingt in der Mehrzahl der Fälle ein langsames Zusammenfliessen der Plasmabänder in der Richtung gegen den Kern, wo man sie später sämmtlich zu einer unregelmässig-rundlichen Masse ohne alle Fortsätze verschmolzen findet. Hie und da kommt es auch vor, dass grössere Plasmapartien, die sich eben in beträchtlicher Entfernung vom Kerne befinden, ein besonderes Vereinigungscentrum darstellen. Die Verbindungsfäden reissen dann ab und fliessen mit den beiden Massen zusammen.

- 388 Wollte man Erscheinungen, wie die eben erwähnten, als Contractionen bezeichnen, so würde diess zwar dem Eindruck, den sie gewähren, nicht gerade widersprechen. Uns scheint indess eine andere Auffassung, die den Thatsachen mindestens eben so gerecht wird, viel näher zu liegen. Wir halten es für möglich und wahrscheinlich, dass alle die Formveränderungen, welche durch Reize hervorgebracht werden, einfach Folgen jenes Strebens nach Abrundung sind, welches bei jedem flüssigen oder halbfüssigen Medium zur Geltung kommt, sobald die besondern Kräfte, die

*) Näheres über die Wirkung des galvanischen Stromes auf Thier- und Pflanzenzellen findet man weiter unten im Capitel über Elektrizität.

ihm eine andere Gestalt verleihen, zu wirken aufhören. In den Plasmafäden wird sich dieses Streben um so deutlicher äussern, je weniger die Verschiebbarkeit der Micellen durch die Einwirkung des Reagens leidet; es wird in jedem einzelnen Theile vollständig erlöschen, sobald das Plasma durch Coagulation in den festen Zustand übergeführt ist. Damit ist aber auch die Möglichkeit gegeben, dass die abweichende Art und Weise, wie die verschiedenen Reize den Micellarzustand des Plasmas verändern, die mancherlei Abweichungen im Formenwechsel bedingt, welche man im Momente der Einwirkung oder während des Absterbens beobachtet.

Die Vergleichung der durch Reize veranlassten Plasmabewegungen mit dem Tetanus der Muskeln erscheint also vorläufig mindestens gewagt, und vollends ungerechtfertigt ist es, die Strömungen in der lebenskräftigen Zelle damit in irgend einen Zusammenhang zu bringen.

Um bestimmtere Vorstellungen über die Wirkungsweise der Kräfte 389 zu gewinnen, welche das Strömen des Plasmas hervorrufen, wird man am besten thun, die Erscheinung vorläufig so aufzufassen, wie sie sich dem Auge darstellt: als eine fortschreitende Bewegung eines halbflüssigen Mediums in einem leicht flüssigen. Wird alsdann das erstere als homogen betrachtet, so ist zunächst klar, dass an der Grenzfläche der beiden Medien eine Kraft wirken muss, welche das Fortrücken der einzelnen Theile bedingt. Welcher Natur die Kräfte auch sein mögen, die im strömenden Plasma selbst frei werden, sie setzen sich an der Grenzfläche der Plasmafäden jedenfalls in mechanische Kraft um, weil die Bewegung an und für sich ein mechanischer Vorgang ist. Der wässerige Zellsaft bietet dem Plasma, ähnlich wie das Wasser dem Fisch und die Luft dem Vogel, die Stützpunkte dar, deren es zum Fortschieben seiner Theile, wie jedes Object das die bewegende Kraft in sich selbst entwickelt, bedarf.

Für die Theorie ergibt sich hieraus die weitere Consequenz, dass die Wassertheilchen in der Umgebung der Plasmafäden einen Impuls in entgegengesetzter Richtung erhalten und in Folge dessen in eine gegenläufige Strömung versetzt werden, welche dieselbe Summe lebendiger Kraft repräsentirt, wie die Plasmaströmung. Dass wir die Wirkung dieser Gegenströmung, obschon sie auf die stärker hervorragenden Plasmamassen hemmend einwirken muss, nicht beobachten, erklärt sich durch die sehr natürliche Annahme, dass diese Massen vermöge ihres grössern Querschnittes auch eine entsprechend stärkere motorische Kraft entwickeln. Die Vertheilung dieser Kraft an der Oberfläche der Plasmafäden lässt sich überhaupt in sehr verschiedener Weise denken, da ja die unbekannte Quelle derselben von Punct zu Punct variiren kann und mit den wechselnden Formverhältnissen jedenfalls variiren muss. In dieser Beziehung ist offenbar jede Voraussetzung gestattet, welche zur Erklärung beobachteter Strömungsvorgänge nothwendig erscheint. Man begreift auch, dass die mit den Formen wechselnde Vertheilung der Kräfte, verbunden mit dem

Widerstände des umgebenden Mediums, eine allmähliche, aber regellose Verschiebung des ganzen Stromnetzes zur Folge haben muss.

Lässt man die Bedingung der Homogenität, wonach die Plasmatheilchen sich sämtlich in gleicher Weise bei der Bewegung betheiligen, fallen und betrachtet man das Plasma als ein Gemenge von eiweissartigen Körperchen und einer wässerigen Lösung, welche jenen als Tummelplatz der Bewegung dient, so wird nothwendig die Oberfläche dieser Körperchen zum Sitz der bewegenden Kraft. Das Plasma verhält sich alsdann wie eine Schaar Vögel mitsammt der Luft, in welche die Individuen eingetaucht sind: der Flug geht vorwärts und die Luftströmung rückwärts. Auch in diesem Falle repräsentiren die beiden Bewegungen die gleiche Summe lebendiger Kraft, und die Bewegungsrichtung kann nur bedingt sein durch Componenten, welche eine polare Vertheilung der Kraftquellen — nicht bloss eine wechselnde Ab- und Zunahme radialer Kräfte*) — voraussetzen. Ob übrigens eine solche Vorstellungsweise, deren mechanische Berechtigung zuzugeben ist, auch in atomistisch-chemischer Hinsicht plausibel sei, wollen wir hier nicht weiter erörtern.

- 390** Wir haben im Vorhergehenden vorzugsweise die Plasmaströme in den Staubbädenhaaren von *Tradescantia* und die damit übereinstimmenden in den Brennhaaren der Nessel etc. im Auge gehabt. Die gegebene Darstellung lässt sich übrigens auch auf andere Strömungs- und Bewegungserscheinungen, die in oder ausserhalb der Zelle vorkommen, übertragen. Ueberall haben die motorischen Kräfte, so nehmen wir an, ihren Sitz an der Oberfläche sich berührender heterogener oder doch verschieden organisirter Substanzen; die Unterschiede, die in den Effecten hervortreten, beruhen nur darauf, dass die Richtung der Resultirenden sich bald jeden Augenblick ändert, wie bei der Zitterbewegung (Molecularbewegung), bald längere Zeit constant bleibt, wie bei den Strömungen und Glitschbewegungen. Dazu kommt dann noch, dass zuweilen nur die eine der beiden Massen beweglich ist und dann auf der ruhenden dahingleitet, während in andern Fällen zwei Flüssigkeiten auf einander einwirken, die beide verschiebbar sind. Die bekannten Rotationsströme der Charen werden z. B., wie sich aus den bekannten Thatsachen (s. Nägeli, Beiträge zur wiss. Botanik Heft II) mit grösster Wahrscheinlichkeit ergibt, durch eine Kraft unterhalten, welche in dem unbeweglichen Primordialschlauch erzeugt wird und von hier aus sowohl dem anliegenden Plasma als dem wässerigen Zellinhalt eine gleichsinnige Bewegung ertheilt.**)

*) Vgl. Hofmeister in Flora 1865, p. 7 und in dessen Handb. der physiol. Bot. p. 63 ff.

**) Diese Auffassung der Strömungsvorgänge in den Charenzellen stützt sich namentlich auf die Art und Weise, wie die Stromgeschwindigkeit von der Oberfläche nach innen zu abnimmt, sowie auf die Unabhängigkeit derselben von der chemischen Beschaffenheit der im Zellsaft schwimmenden, bewegten Körper. Beide Momente sind unvereinbar mit jeder Theorie, welche die treibenden Kräfte in diese Körper selbst verlegen und dem Zellsaft eine rückläufige Bewegung zuschreiben wollte.

Primordialschlauches beweglich, so müssten sie natürlich in entgegengesetzter Richtung rotiren.

Bezüglich der Zitterbewegung ist in neuerer Zeit der Versuch gemacht worden, dieselbe als eine Wirkung der Lichtschwingungen darzustellen. *) Man sieht jedoch nicht ein, warum die Lichtschwingungen, wenn sie auf kleine, in der Flüssigkeit suspendirte Körperchen einwirken, einen andern Effect haben sollten, als ein schwächeres oder stärkeres Mitschwingen derselben, was natürlich unter dem Mikroskop nicht wahrnehmbar wäre. Um einen so erheblichen Ausschlag zu bewirken, wie er thatsächlich stattfindet, müssen nothwendig kleine Strömchen im Wasser vorhanden sein, welche die Körperchen mitreissen. **) Wir halten es überdiess für richtiger, die fraglichen Bewegungen mit den Glitsch- und Strömungserscheinungen in dieselbe Kategorie zu bringen. Denn wie bereits bemerkt, geht bei *Closterium* die Zitterbewegung in die Glitschbewegung über, sobald die betreffenden Körnchen sich an den Primordialschlauch anlegen. Die motorischen Kräfte oder deren wirksame Componenten ordnen sich hier mehr nach einer Richtung, als im flüssigen Medium, und bedingen eben dadurch das Glitschen. Viele glitschende Körnchen bilden nun aber ein Strömchen, das sich zuerst nur einige Zeit in der gleichen und dann in der entgegengesetzten Richtung bewegt, später jedoch constant werden kann.

Ueber die Natur der Kräfte, welche die Plasmabewegungen bedingen, 391 sind wir vorläufig rein auf Vermuthungen angewiesen. Was ist natürlicher, als dass man unter solchen Umständen zu elektrischen Strömen seine Zuflucht nimmt? Man weiss, dass solche Ströme auf die Bewegung der Flüssigkeiten bei der Diösmose influiren und hat daher eine gewisse Berechtigung, sie auch in unserm Falle motorisch wirken zu lassen. Allein auf der andern Seite fehlen bis jetzt alle und jede Anhaltspunkte, welche etwa darauf hindeuteten, dass ein in bestimmter Richtung durch oder um die Zelle geführter galvanischer Strom gleichsinnige und gegenläufige Plasmaströme ungleich afficirt, z. B. den einen beschleunigt und den andern verlangsamt, wie es doch wohl der Fall sein müsste, wenn die bewegenden Kräfte selbst elektrischer Natur wären.

*) Vgl. Wiener, Pogg. Ann. CXVIII.

**) Vgl. Exner, Untersuchungen über Brown's Molecularbewegung [Sitzber. d. k. Akad. d. Wiss., Bd. LVI, (1867)].

II.

Feste Körper.

1. Das Erkennen des Aggregatzustandes.

392 Wie sich die festen Körper von den flüssigen unterscheiden, lässt sich eigentlich schon aus den oben mitgetheilten Eigenschaften der Lösungen entnehmen, da eine Verwechslung mit luftführenden Räumen nicht leicht möglich ist. Das richtige Erkennen des Aggregatzustandes wird überhaupt nur in zwei Fällen schwieriger, nämlich 1) bei halbflüssigen gallertartigen Medien und 2) bei kleinen rundlichen Körperchen. Was die erstern betrifft, so verhindern sie im Gegensatz zu den Lösungen sowohl die Zitterbewegung als das Steigen oder Fallen kleiner Körnchen, welche in denselben suspendirt sind, und liefern dadurch ein Kriterium, welches in manchen Fällen, wo es sich z. B. um die Frage handelt, ob der innere Theil eines festen Körpers gelöst oder aufgequollen sei, Anwendung findet.

Sind gallertartige Medien in unmittelbarer Berührung mit dem Wasser, so behalten sie natürlich bestimmte Umrisse, die jedoch in schwierigern Fällen, wovon hier allein die Rede ist, nicht wahrnehmbar sind. Die Grenzlinien treten indess deutlich hervor, wenn es gelingt, durch ein geeignetes Reagens eine verschiedene Färbung der Gallerte hervorzurufen. So wird z. B. Stärkekleister in Wasser durch Iodlösung, die Extracellulärsubstanz (Hüllmembran) mancher Algen durch Trübung des Wassers sichtbar.

Körnige Gebilde sind von kleinen Tröpfchen darin verschieden, dass sie nie die genaue Kugelform der letztern zeigen und selbstverständlich auch nicht zusammenfliessen, während z. B. Oeltröpfchen nach Zusatz von Alkohol sich leicht vereinigen.

2. Elasticität, Weichheit, Dehnbarkeit.

393 Zu den Eigenschaften eines festen Körpers, deren Kenntniss für die mikroskopische Untersuchung von Bedeutung ist, gehört auch das Verhalten desselben gegen äussere Kräfte, welche eine Formveränderung zu bewirken streben. Nach dem grössern oder geringern Widerstande, welchen die Körper einem Druck oder Zug entgegensetzen, theilt man dieselben in harte und weiche; beide sind elastisch oder unelastisch, je nachdem sie nach erfolgter Aenderung der Gestalt von selbst wieder ihre ursprüngliche Form annehmen oder nicht. Die Körper sind ferner dehnbar, wenn sie grössere Formveränderungen erleiden, ohne den Zusammenhang zu verlieren, und spröde, wenn sie diese Eigenschaft nicht oder nur in geringem Grade besitzen.

Um zu ermitteln, in welche Kategorie ein mikroskopisches Object gehört, ist in manchen Fällen ein directes Verfahren anwendbar, wie es der Physiker im Grossen einschlägt. Man drückt auf den hinlänglich isolirten Gegenstand durch Aufsetzen der Nadel auf das Deckgläschen oder, wo es angeht, auch direct; man zerrt ihn mit Hülfe zweier Nadeln auseinander u. s. w. Auf diese Weise überzeugt man sich z. B., dass die Stärkekörner und Proteinkrystalloide in hohem Grade spröde sind, indem sie schon bei geringem Druck Risse bekommen oder in Stücke zerfallen, während die Zellkerne, wie überhaupt die Plasmagebilde, sich dehnbar erweisen.

Ueber das Verhalten des Plasmaschlauches oder Primordialschlauches geben die Erscheinungen Aufschluss, welche man beim Ablösen desselben von der Zellwandung auf Zusatz von Zuckerlösung und beim Freiwerden der Schwärmsporen beobachtet. In beiden Fällen zieht er sich zuweilen an den Stellen, wo er an der Wandung oder an der Austrittsöffnung haften bleibt, in lange Fäden aus, welche beim Zerreißen nach Art einer schleimigen Flüssigkeit sich in die Hauptmasse zurückziehen, ohne hier irgend welche Erhabenheiten zu verursachen. So z. B. bei *Spirogyra* und beim Ausschlüpfen der Schwärmsporen von *Stigeoclonium*.

Der Plasmaschlauch ist also in hohem Grade dehnbar; er verhält sich wie eine halbflüssige Substanz, etwa wie Gummischleim. An Elasticität ist unter solchen Verhältnissen nicht zu denken; sie ist bei schleimigen Flüssigkeiten, deren Fäden in der angegebenen Weise zusammenfliessen, geradezu unmöglich. Dass der Schlauch bei der Volumenabnahme des flüssigen Zellinhaltes sich zusammenzieht, ohne Falten zu bilden, und sich nachher durch Wasseraufnahme wieder ausdehnt, gewährt zwar den Anschein der Elasticität, beweist aber in Wirklichkeit nur die Verschiebbarkeit seiner Micellen. Ein verletzter Plasmaschlauch behält jede Form, die man ihm durch Druck oder Zug gegeben hat, unabänderlich bei.

Die Eigenschaften der Zellmembran sind mit denjenigen des Holzes qualitativ identisch. Man weiss, dass das letztere in hohem Grade elastisch, aber fast gar nicht dehnbar ist; die Membranen müssen sich daher ebenso verhalten. Es unterliegt übrigens keiner Schwierigkeit, sich hievon auch durch die mikroskopische Beobachtung zu überzeugen. Bastfasern, Holzzellen etc., welche man durch mechanischen Druck biegt, kehren nach dem Aufhören des Druckes in ihre frühere Lage zurück; die äussere Pollenhaut, welche in Folge der Einwirkung des Wassers sich nicht selten abstreift, wird zunächst durch den Druck des Zelleninhaltes ausgedehnt, zerreisst dann und zieht sich nach dem Abstreifen wieder auf ihren frühern Durchmesser zusammen. Dasselbe beobachtet man auch an der Cuticula der Baumwollenfasern während der Einwirkung von Kupferoxydammoniak. Die cuticularisirten Membranen scheinen überhaupt in höherem Grade dehnbar zu sein, als die nicht cuticularisirten, wesshalb bei jenen auch die Erscheinungen der Elasticität deutlicher in die Augen fallen.

Bei den gewöhnlichen Zellmembranen ist die Verlängerung oder Verkürzung, welche durch Zug oder Druck bewirkt wird, in der Regel so gering, dass sie mikrometrisch nicht gemessen werden kann. Trockenes Buchenholz dehnt sich z. B. bis zur Elasticitätsgrenze nur um $\frac{1}{600}$ seiner Länge, eine einzelne Zelle von 600 Mik. Länge also nur um 4 Mik. aus, und ähnlich verhalten sich auch die meisten andern harten Membranen. Im lebensfrischen Zustande fällt natürlich die Verlängerung beträchtlich stärker aus; sie erreicht z. B. beim Bast c. 4 bis 4,5 Procent, jedoch erst bei einer Belastung, welche in der Regel 10 Kilo per Quadratmillimeter übersteigt. *) Für die mikrometrische Messung setzen auch diese Ziffern eine Zellenlänge von mindestens 0,45 bis 0,2^{mm} voraus. Etwas augenfälliger ist die Dehnbarkeit jener weichern Membranen, welche die Querwände der Algenfäden bilden und beim Isoliren der Zelle durch den hydrostatischen Druck der Zellflüssigkeit nach aussen gewölbt werden. Da die Dicke der Zellen sich hiebei nicht merklich verändert, so ist die Wölbung nothwendig mit einer beträchtlichen Ausdehnung verbunden.

Genauere Angaben über das absolute Maass der Dehnbarkeit und der Elasticitätskräfte in den verschiedenen Membranen liegen zur Zeit nur für einzelne bestimmte Fälle vor. Das Elasticitätsmodul, dessen Bestimmung für die mechanische Werthung beobachteter Dimensionsveränderungen erst die nöthigen Daten liefert, ist nur für die bessern Bastsorten annähernd bekannt, wo dasselbe im Durchschnitt zwischen 1200 und 2000 Kilogramm-Millimeter variirt. Das Tragvermögen per Quadratmillimeter beziffert sich hiebei auf 15—20 Kilo, und die bei dieser Belastung eintretende Verlängerung erreicht die vorhin bezeichnete Höhe von 4 bis 4,5 Procent. **) Je mehr das Bastgewebe einen collenchymatischen Character annimmt, desto grösser fällt natürlich die Dehnbarkeit, desto geringer dagegen das Tragvermögen aus. Dasselbe gilt auch von andern Geweben. Als Beispiel einer auffallend hohen Dehnbarkeit verdienen in erster Linie die Staubfäden der Cynareen genannt zu werden, wo dieselbe c. 10—20 Procent erreicht. ***) In sehr erheblichem Grad dehnbar ist übrigens auch das noch jugendliche Gewebe wachsender Internodien †), sowie der weichen unterirdischen Pflanzenorgane.

394 Die Elasticität der Zellmembranen bedingt natürlich auch diejenige der Gewebe: sie erklärt die mancherlei Spannungen und die damit zusammenhängenden Bewegungserscheinungen, welche wir an pflanzlichen Gebilden beobachten. Hier ist daher der Ort, diese schon oben (p. 374) kurz angedeuteten Wirkungen der Elasticitätskräfte genauer ins Auge zu

*) Vgl. Schwendener, Das mechanische Princip im anatomischen Bau der Monocotylen, Leipzig 1874.

**) Vgl. Schwendener, l. c. p. 44.

***) Vgl. Pfeffer, Physiologische Untersuchungen, p. 89; ferner Cohn in d. Abh. der schles. Ges. f. vaterl. Cultur 1864.

†) Vgl. Sachs, Lehrb. d. Bot. 3. Aufl. p. 689.

fassen und die Gesetze, denen sie unterworfen sind, soweit möglich festzustellen.

Wir haben hiebei in erster Linie die Frage zu erörtern, ob saftführende Gewebe und andere organisirte Gebilde im imbibirten Zustande sich gegen äussere Kräfte ähnlich verhalten wie ausgetrocknete oder nicht organisirte Körper, z. B. wie Stahl oder Elfenbein. Diese letztern erleiden bekanntlich durch Druck oder Zug eine kleine Verminderung oder Vermehrung ihres Volumens. Ein Stahldraht, dessen Länge durch Ziehen von 1 auf $1 + a$ steigt, wird hiebei ungefähr im Verhältniss von 1 zu $1 - \frac{a}{4}$ dünner und sein Volumen nimmt etwas zu. Ebenso bewirkt die Compression eines trockenen elastischen Körpers eine entsprechende Volumverminderung. Man könnte nun versucht sein, diese Verhältnisse ohne Weiteres auf safterfüllte organisirte Körper zu übertragen; allein bei näherer Berücksichtigung der Molecularstructur und der damit zusammenhängenden Eigenthümlichkeiten organisirter Substanzen erweist sich eine solche Uebertragung, wie wir sogleich darthun werden, unstatthaft.

Betrachten wir zunächst ein isolirtes und mit Wasser durchtränktes 395
Membranstück, etwa eine Lamelle aus einem Caulerpa-Thallus, eine bis zum Verschwinden des Lumens verdickte Bastfaser, eine Spiralfaser etc., so ergiebt sich aus dem Verhalten derselben zum polarisirten Licht, dass Streckungen, Biegungen und andere ähnliche Einwirkungen die Anordnung der Atome in den krystallinischen Micellen nicht merklich ändern (vgl. pag. 354), dass somit bloss die Entfernungen der Micellen unter sich vergrössert oder verkleinert werden. Andererseits ist bekannt, dass das Wasser in imbibirten Membranen mit grosser Kraft zurückgehalten wird, und die mikroskopische Beobachtung lehrt, dass dasselbe durch Biegen oder Comprimiren des Objects sich nicht herauspressen lässt. Es bleibt demzufolge nichts anderes übrig, als anzunehmen, dass der Wassergehalt einer Membran im gespannten Zustande derselbe sei, wie im neutralen. Die Wassertheilchen werden also durch äussere Kräfte bloss verschoben, aber nicht ausgeschieden; sie bewegen sich z. B. beim Biegen eines Objects von der concaven nach der convexen Seite hinüber, füllen aber nach wie vor die Micellarinterstitien der Substanz vollständig aus und nehmen, da die Summe ihrer Spannungen nur wenig geändert ist, auch nahezu denselben Raum ein.

Wenden wir jetzt dasselbe Raisonnement auf interstitienlose safter- 396
füllte Gewebe an, so ist an und für sich klar, dass die Membranen hier ebensowenig, wie im vorhergehenden Falle, eine Volumenänderung veranlassen. Das Nämliche gilt aber auch von der in den Zellen enthaltenen Flüssigkeit. Es kann sich also nur noch fragen, ob vielleicht die Spannungsänderungen, welche durch äussere Kräfte bewirkt werden, — insbesondere die durch Zugspannung bedingte Vergrösserung der Micellarinterstitien in

tangentialer Richtung — die Permeabilität der Membranen, wenigstens stellenweise, modificiren. Wäre diess der Fall, so müsste durch Zusammen-drücken eines Gewebes, weil dadurch der hydrostatische Druck auf die Wandungen jedenfalls nicht verkleinert, der Filtrationswiderstand der Membranen an den betreffenden Stellen aber geschwächt würde, offenbar ein Theil der Zellflüssigkeit herausgepresst werden, und die so erzeugte Strömung würde selbstverständlich fortdauern, bis der allmählig sinkende hydrostatische Druck dem verminderten Widerstand der Membranen wieder das Gleichgewicht hielte. In gleicher Weise müsste das Auseinanderziehen eines Gewebes ein Einströmen von Wasser oder, wenn das Object isolirt ist, die Bildung eines leeren Raumes zur Folge haben.*) — Sind dagegen die Spannungsänderungen, wie sie in der Pflanze vorkommen, ohne merklichen Einfluss auf die Permeabilität, so verhalten sich die Gewebe wie imbibierte Membranen: sie nehmen in jedem beliebigen Zustande der Spannung immer beinahe denselben Raum ein.

397 Die eben entwickelten Consequenzen sind sowohl für Membranen als für saftführende Gewebe streng genommen richtig, so lange das Spiel jener Molecularkräfte, die das Leben bilden, nicht alterirt wird. Man darf aber nicht vergessen, dass oft nur ein geringer Anstoss von aussen nöthig ist, um diese Alteration in sehr augenfälliger Weise herbeizuführen. Wenn z. B. die Membranen mancher Algenfäden in Zuckerlösung auf das Doppelte ihrer ursprünglichen Dicke anschwellen, ohne ihre Längendimension zu verändern; wenn eine ähnliche Quellung auch bei entzwei geschnittenen oder verletzten Spirogyrenzellen vorkommt, so sind das offenbar Erscheinungen, für welche die von aussen einwirkenden Kräfte keinen Maassstab bieten. Wenn man ferner beobachtet, dass der Primordialschlauch sich unter der Herrschaft des Lebens anders verhält als in der todten oder tödtlich verletzten Zelle; dass Druck auf eine im Wasser befindliche Zelle Exosmose, die sonst nicht eingetreten wäre, hervorruft und dass die letztere noch fortdauert, wenn der Druck zu wirken aufgehört hat, so kann man sich der Ueberzeugung nicht verschliessen, dass die kleinsten Theilchen der lebenden Zellhäute sich gewissermaassen in einem Zustande labilen Gleichgewichts befinden, welcher durch verhältnissmässig kleine Eingriffe leicht gestört wird.**)

Unter diesen Umständen lässt sich das Verhalten organisirter Gebilde unter dem Einfluss von Kräften, die eine Formveränderung bewirken, nicht

*) Beim Biegen eines Organs rücken die Micellen der convexen Seite in longitudinaler Richtung weiter auseinander, in der Querrichtung dagegen etwas näher zusammen; umgekehrt auf der concaven Seite. Es ist daher wahrscheinlich, dass in Folge dessen der Filtrationswiderstand der Membranen modificirt wird. Andererseits erfährt aber auch der hydrostatische Druck der Zellflüssigkeit eine kleine Zu- oder Abnahme, je nachdem die Lumina der Zellen durch die äussern Kräfte kleiner oder grösser werden. Die resultirende Wirkung lässt sich daher nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen berechnen.

**) Vgl. Nägeli, Pflanzenphysiol. Unters. I, p. 32.

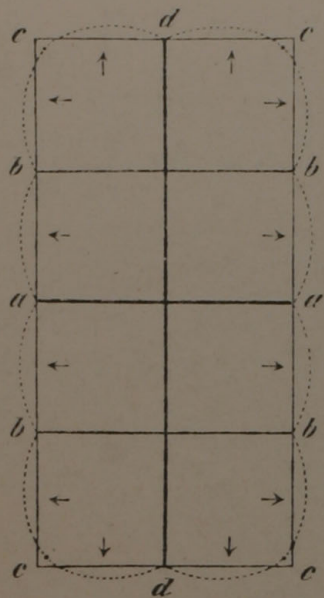
ein für allemal feststellen. Wenn es auch nicht wahrscheinlich ist, dass Spannungen und Spannungsänderungen, wie sie z. B. zwischen der Epidermis und dem Parenchym der Blätter, zwischen der Rinde und den Gefässbündeln krautartiger Stengel oder Wurzeln etc. vorkommen, eine Alteration der molecularen Verhältnisse in dem eben bezeichneten Sinne hervorrufen, so kann doch in jedem gegebenen Falle nur der Versuch entscheiden, ob die Formveränderungen gespannter Gewebe mit Volumenveränderungen verbunden seien oder nicht, und ob diese letztern langsam oder plötzlich stattfinden. Die mitgetheilten theoretischen Erörterungen werden übrigens dadurch keineswegs überflüssig, denn sie zeigen, dass eine allfällige Zu- oder Abnahme des Volumens von verschiedenen Ursachen herrühren kann und geben somit dem Beobachter Veranlassung, in der Deutung solcher Erscheinungen vorsichtig zu sein.

Wie die Elasticität, so sind natürlich auch die übrigen Eigenschaften **398** der Gewebe von denjenigen der Membranen abhängig. Harte oder weiche Membranen werden dem Gewebe ihre Härte oder ihre Weichheit, dehnbare Membranen einen gewissen Grad von Dehnbarkeit verleihen u. s. f. Allein hiemit ist der Zusammenhang, welcher zwischen den Eigenschaften der Gewebe und denjenigen der Elementarorgane besteht, noch keineswegs erschöpft. Es fragt sich jetzt weiter, welche Momente überhaupt bei dieser oder jener Eigenschaft eines Gewebes in Betracht kommen und in wie weit sie maassbestimmend darauf einwirken.

Was zunächst die Elasticität betrifft, so lässt sich nachweisen, dass dieselbe in Geweben zum Theil von einem Factor herrührt, der von der Elasticität der Membranen unabhängig ist, oder mit andern Worten, dass ein Gewebe selbst dann noch elastisch sein müsste, wenn die Wandungen der Zellen, woraus es besteht, bloss dehnbar, aber durchaus unelastisch wären. Diess folgt schon aus dem Verhalten der Zelle. Jede einzelne Zelle hat vermöge ihres flüssigen Inhalts das Bestreben, Kugelform anzunehmen, und bringt dasselbe zur Geltung, soweit der Widerstand ihrer Wandung, letztere mag nun aus Protoplasma oder aus Cellulose bestehen, diess gestattet. Sie nimmt also eine bestimmte Form an und kehrt nach jeder Aenderung derselben, welche durch äussere Kräfte veranlasst wurde, zu dieser Form zurück. Ganz dasselbe gilt natürlich auch für Gewebe. Ein beliebiger Zellcomplex muss unter dem Einfluss des hydrostatischen Druckes, den der Zellsaft ausübt, das Bestreben haben, sich abzurunden, und wenn die Membranen dehnbar sind, wie eine Plasmahaut, so wird schon bei mässigem Druck das Gleichgewicht nicht eher hergestellt sein, als bis die Kugelform wirklich annähernd erreicht ist.

Wir wollen diess an einem Beispiel noch näher veranschaulichen. **399** Man denke sich eine aus dehnbarer Substanz in grossem Maassstab construirte Zellgruppe, bestehend aus 8 würfelförmigen, durch feine Oeffnungen communicirenden Zellen (Fig. 245) und eingerichtet, um einen

gleichmässigen hydrostatischen Druck von innen wirken zu lassen. In einem solchen Apparat lassen sich die Kräfte, welche dehnend auf die verschiedenen Scheidewände einwirken, leicht berechnen. Es sei der Druck,



Figur 215.

der von innen auf die Würfelfläche ausgeübt wird $= 400$, der äussere Luftdruck beliebig kleiner, beispielsweise $= 50$. Die peripherischen Würfelflächen wölben sich alsdann vermöge ihrer Dehnbarkeit nach aussen, wobei auch die Eck- und Seitenkanten eine schwache Krümmung in gleichem Sinne erfahren. Wir wollen jedoch, der einfachern Vorstellung wegen, von dieser Krümmung vorläufig absehen, indem wir annehmen, die senkrecht zur Papierfläche verlaufenden Kanten *a*, *b* und *c* bestehen aus unbiegsamen Stäben, und die Krümmung der Kanten *ab* und *bc* in der Richtung senkrecht zur Papierebene sei zu vernachlässigen, wie es z. B. der Fall sein würde, wenn unsere Zellgruppe nach oben und unten von 2—3 ähnlichen begrenzt wäre.

Diess vorausgesetzt, influirt die Vergrösserung der Würfelflächen durch Wölbung in den 4 mittlern Zellen bloss auf die Gesamtsumme der radialen Kräfte, die darauf einwirken; diese Summe ist der jeweiligen Oberfläche proportional. Allein die Componente derselben, welche senkrecht zur Mittellinie *dd*, also in der Richtung der Pfeile wirksam ist, bleibt constant. Es ist nämlich ein allgemeines Gesetz, dass ein gleichmässiger Druck, der auf alle Punkte einer Halbkugel oder Kugelcalotte in radialer Richtung ausgeübt wird, in seinem Effect auf die Grundfläche gleich ist dem Druck auf diese Grundfläche selber. Die Grundfläche bleibt aber für die Aussenwandungen der mittlern Zellen dieselbe, weil die Entfernung der Scheidewände wegen der geringen Dehnung der Zellen in der Längsrichtung sich so gut wie nicht verändert. Folglich bleibt auch der Gesamtdruck nach aussen derselbe.

Anders verhalten sich dagegen die Eckzellen, weil hier der einseitige Druck eine Verschiebung der Kante *c* und damit eine Verkleinerung der entsprechenden Grundflächen zur Folge hat. Die Verhältnisse sind ganz ähnlich wie bei einem Gewölbe, das auf zwei Mauern ruht. Wie diese letztern durch die Last des Gewölbes nach aussen gedrückt werden, so müssen die Wölbungen *bc*, weil hier der Druck von innen wirkt, die Kante *c* nach einwärts, d. h. in den obern Ecken nach unten, in den untern nach oben ziehen, indess die Wölbungen *cd* aus demselben Grunde einen Zug gegen die Mittellinie *dd* ausüben. Der Punct *c* muss also in der Richtung der Diagonale nach innen rücken.

Man mag nun den Druck, der in den Eckzellen wirksam ist, auf die

beiden Pfeile vertheilen, wie man will, das Resultat bleibt in der Hauptsache dasselbe. Am natürlichsten ist es, den Punct *c* nach wie vor als Grenzpunkt zu betrachten. Dann ist offenbar die Kraftsumme, welche auf die Querrichtung fällt, geringer als in den 4 mittlern Zellen, weil die Grundfläche eine kleinere ist; sie mag beispielsweise durch 90, statt durch 100 repräsentirt sein. Dieselbe Kraft wirkt auch parallel *dd*.

Der Zug, welcher auf die Scheidewände *aa*, *bb* und *dd* ausgeübt wird, berechnet sich jetzt wie folgt. Auf jede Wand wirkt der halbe Seitendruck der beiden anstossenden Zellen, also auf *aa* = $\frac{1}{2} (100 + 100) = 100$, auf *bb* = $\frac{1}{2} (100 + 90) = 95$, endlich auf *dd* = $\frac{1}{2} (90 + 90) = 90$. Man ersieht hieraus, dass die Ausdehnung in der Richtung *aa* am stärksten, in der Richtung *dd* am schwächsten sein wird.

Zu demselben Resultat müsste man natürlich auch mit Bezug auf die zur Papierfläche senkrechte Richtung gelangen, man mag nun die 8 Zellen für sich allein oder in Verbindung mit darüber und darunter liegenden ähnlich gruppirten betrachten. Man begreift auch, dass die Biegsamkeit der Kanten, welche im Vorhergehenden vernachlässigt wurde, die Berechnung der Kraftsummen zwar etwas complicirt, das Endresultat aber nicht wesentlich beeinträchtigt. Die Ausdehnung unserer Zellgruppe wird also nothwendig in der Richtung des kleinsten Durchmessers am grössten, in der Richtung des grössten Durchmessers am kleinsten sein. Sie wird bei hinreichender Dehnbarkeit der Membranen, oder wenn die Membranen in einem ihren Spannungsverhältnissen entsprechenden Maasse durch Intussusception wachsen, zuletzt zur Kugelform führen *).

Die Form, welche ein Gewebe unter dem Druck des Zellinhaltes annimmt, ist überhaupt ganz allgemein als ein Gleichgewichtszustand zu betrachten, in welchen dasselbe nach jeder Formveränderung, welche durch Druck oder Zug hervorgerufen wird, zurückkehrt, die Membranen mögen nun elastisch sein oder nicht. Der Unterschied besteht nur darin, dass elastische Membranen ein rasches Zurückkehren, nicht elastische ein um so langsames bedingen, je grösser ihre Widerstandskraft.

Im Uebrigen stehen die Elasticitätsverhältnisse der Gewebe (Elasticitätsgrenze, Elasticitätsmodul), wie aus dem Gesagten hervorgeht, mit der Dehnbarkeit und Elasticität der Membranen in einem ziemlich verwickelten Zusammenhang. Ein aus kugelförmigen Zellen bestehendes Parenchym

*) Dass das Streben nach Abrundung sich in Wirklichkeit nur selten geltend macht, kann bei Zellen und Zellcomplexen, die noch im Wachsthum begriffen sind, nur daher rühren, dass die Membranen der Einlagerung von Micellen zwischen die schon vorhandenen oder der Verschiebung der letztern in den verschiedenen Richtungen ungleiche Widerstände entgegensetzen. Wenn z. B. eine Spirogyrenzelle in Folge ihres Wachstums bei vorherrschendem innern Druck um ein Vielfaches länger wird, ohne sich in der Mitte bauchig zu erweitern, so folgt hieraus, dass die Micellarreihen eine Einschiebung neuer Micellen nur in der Längsrichtung, nicht aber in der Richtung des Umfangs gestatten. Die Dehnbarkeit oder Wachsthumfähigkeit ist also nach verschiedenen Richtungen ungleich.

kann z. B. beträchtlich verlängert oder verkürzt werden, obschon die einzelnen Membranen nur einer geringen Veränderung fähig sind. Es verhält sich gewissermaassen wie eine aus federnden Stahl- oder Kautschukringen bestehende Kette, deren Dimensionsveränderungen bekanntlich vorzugsweise auf der Formveränderung ihrer Glieder beruhen. Ein aus cylindrischen oder prismatischen Zellen zusammengesetztes Gewebe wird dagegen in der Längsrichtung jedenfalls sehr annähernd die Dehnbarkeit und die Elasticität der Membranen zeigen. Dieselbe Dehnbarkeit der Membranen bedingt also je nach der Form der Zellen und der Richtung der wirkenden Kräfte, und wir können hinzufügen je nach dem Druck, den der Inhalt auf die Wandungen ausübt, eine grössere oder geringere Dehnbarkeit der Gewebe. Die letztere ist aber unter allen Umständen nur eine Folge der erstern und ohne dieselbe nicht denkbar.

- 401 Die übrigen Eigenschaften der Gewebe betreffend, so verdient nur die Biegungsfestigkeit oder Steifheit derselben eine genauere Betrachtung. Dieselbe hängt bekanntermaassen nicht bloss von der Festigkeit der Membranen, sondern auch vom hydrostatischen Druck des Zellinhaltes ab, und zwar giebt sich dieser letztere Einfluss bei dünnwandigen safterfüllten Geweben in sehr augenfälliger Weise kund. Ein solches Gewebe ist schlaff, wenn der hydrostatische Druck des Inhaltes und der äussere Luftdruck einander gleich sind; es wird dagegen mehr oder weniger steif, wenn die Membranen durch vorwiegenden Druck von innen, wie er im Zustande der Turgescenz immer vorhanden ist, negativ gespannt werden. Das Gewebe verhält sich in dieser Beziehung wie ein mit Wasser gefüllter Schlauch von Kautschuk, dessen Steifheit in gleicher Weise mit dem hydrostatischen Druck oder, was dasselbe ist, mit dem Volumen des Wassers, das in denselben hineingepresst wird, zunimmt.

So lange die Elasticitätsgrenze der Wandungen nicht überschritten wird, wächst die Spannung derselben nothwendig in dem nämlichen Verhältniss, wie der hydrostatische Druck; sie erreicht bei doppeltem Druck einen doppelten, bei dreifachem Druck einen dreifachen Werth u. s. f. In einem ähnlichen, wenn auch nicht genau zu bestimmenden Verhältniss wächst natürlich auch die Steifheit des Schlauches oder des Gewebes. Je mehr Wasser ein Gewebe unter übrigens gleichen Umständen aufnimmt, desto grösser ist der Widerstand, den es einer Biegung oder einer beliebigen Formveränderung durch äussere Kräfte entgegensetzt. *)

Wenn wir also ein Gewebe in einem bestimmten Spannungszustande als gegeben betrachten, so kann eine Spannungsverminderung nur durch Wasserabgabe, eine Spannungsvermehrung nur durch Wasseraufnahme be-

*) Dabei ist jedoch vorausgesetzt, dass der hydrostatische Druck nur einen Bruchtheil der Zugspannung bewirke, welche die Membranen innerhalb der Elasticitätsgrenze auszuhalten im Stande sind. Vgl. hierüber Schwendener, das mechanische Princip etc. p. 104.

werkstelligt werden, — natürlich unter der Voraussetzung, dass ausser dem hydrostatischen Druck und den constanten Elasticitätskräften der Membran keine andern Kräfte wirksam seien. Das Gewebe zeigt folglich bei jeder Spannungsänderung eine unter Umständen messbare, der ausgetretenen oder aufgenommenen Wassermenge entsprechende Ab- oder Zunahme des Volumens.

Wie verhält es sich aber, wenn die Kräfte, welche die Veränderungen in der Biegungsfestigkeit bewirken, in den Membranen selbst ihren Sitz haben, wenn z. B. diese letztern auf irgend eine äussere Veranlassung (Reiz) plötzlich das Bestreben zeigen, ihre Micellarconstitution zu verändern? In diesem Falle ist voraussichtlich eine Ab- oder Zunahme des Volumens nicht unbedingt nothwendig. Die Membranen können ihren innern Bau und damit ihre Steifheit modificiren, ohne ihre äussere Gestalt merklich zu ändern. Demzufolge kann auch ein Gewebe einen höhern oder geringern Grad von Steifheit oder Schlawheit annehmen, ohne dass damit eine nachweisbare Volumveränderung verbunden wäre. Diese würde selbst dann nicht erfolgen, wenn die Membranen in Folge der molecularen Vorgänge das Bestreben hätten, sich auf einen kleinern Raum zusammen zu ziehen. Sie würden zwar unter dieser Voraussetzung einen Druck auf den Zellsaft ausüben; der letztere müsste aber desswegen nicht nothwendig ausfliessen, weil diess ja auch bei der Verstärkung der Spannung durch Endosmose nicht geschieht.

Die innern Veränderungen der Membranen bedingen also an und für sich, obschon sie möglicher Weise die Steifheit der Gewebe merklich modificiren, keine augenfälligen Volumveränderungen. Sie können sich aber, wie sich von selbst versteht, mit den obenerwähnten Factoren, der Vermehrung oder Verminderung des Inhalts, combiniren und also auch in jenen Fällen mitwirken, wo eine Ab- oder Zunahme des Volumens nachweisbar ist.

Aus alledem ergibt sich, dass weder die Thatsache einer Volumver- 402
änderung, noch die beobachtete Abgabe oder Aufnahme von Flüssigkeit über die Spannungsänderungen im Gewebe sichern Aufschluss geben, selbst dann nicht, wenn die beiden Vorgänge einer genauen quantitativen Bestimmung fähig wären. Auch die Schwankungen des Widerstandes, welchen das Gewebe in verschiedenen Spannungszuständen einer Krümmung durch seitlichen Druck oder Zug entgegensetzt, können unmöglich einen genauen Maassstab für die Einzelspannungen der Zellen liefern, weil die Formveränderungen, welche das Gewebe erfährt, schon an und für sich eine Ab- oder Zunahme jenes Widerstandes bedingen müssen. Doch ist zuzugeben, dass bei der Schwierigkeit, genaue Messungen über die Spannungsverhältnisse anzustellen, die Biegungsfestigkeit oder die sogenannte Gesamtspannung immerhin noch die besten Anhaltspunkte liefert. *)

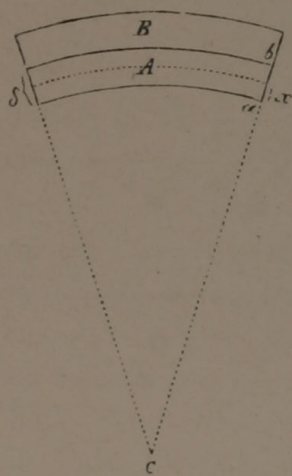
*) Für den Fall jedoch, dass die Membranen sich rein passiv verhalten, wie eine

403 Wir stellen uns jetzt weiter die Aufgabe, die Bedingungen zu ermitteln, unter welchen entgegengesetzt gespannte Gewebe, z. B. Parenchym und Cuticula, die zu einem Ganzen verbunden sind, sich im Zustande des Gleichgewichts befinden. Wir beschränken uns hiebei auf den möglichst einfachen Fall, dass ein saftiges Gewebe von parallelepipedischer Form mit zwei opponirten Flächen an Gewebelamellen grenzt, welche die freie Ausdehnung des erstern hemmen, wie diess bei einem viereckigen Stück, das aus einer Blattspreite herausgeschnitten wird, der Fall ist. Das saftige Gewebe ist alsdann um einen gewissen Bruchtheil kürzer, als im isolirt gedachten Zustande, und in Folge dessen positiv gespannt; die beiden Lamellen erfahren dagegen eine entsprechende Streckung, so zwar, dass die dadurch hervorgerufene negative Spannung der positiven das Gleichgewicht hält. Diese entgegengesetzten Spannungen geben sich bekanntlich dadurch kund, dass eine Theilung des ganzen Complexes in zwei symmetrische Hälften eine Krümmung dieser Hälften zur Folge hat.

Es wäre nun von practischem Interesse, diese Krümmung für verschiedene Voraussetzungen in Betreff der Dimensionsverhältnisse, der Elasticität und Dehnbarkeit mathematisch zu bestimmen, um dann umgekehrt aus bekannten Krümmungen und Dimensionsverhältnissen Schlüsse auf die Elasticität und Dehnbarkeit ziehen zu können. Die streng mathematische Lösung dieses Problems war jedoch für uns nur unter Voraussetzungen möglich, deren Zulässigkeit uns nicht ganz zweifellos erschien*),

Kautschukröhre, dehnen sie sich innerhalb der Elasticitätsgrenze genau nach Maassgabe des hydrostatischen Druckes aus, und dann steht allerdings die Volumenzunahme im Verhältniss zur Spannungsgrosse.

*) Wir gingen hiebei von der gekrümmten Gleichgewichtslage aus und suchten die Summe der Spannkkräfte zu bestimmen, welche in den concentrischen Schichten von A und B (Fig. 246) nach Maassgabe ihrer Verlängerung oder Verkürzung wirksam sein können. Diess geschah in folgender Weise.



Figur 246.

Sei die ursprüngliche Länge von A gleich l , die Längenzunahme der innersten Schicht in Folge der Spannung gleich $\frac{l}{n}$, der Krümmungsradius $ca = r$ und die Dicke $ab = \delta$; dann ist die Länge einer beliebigen Schicht, deren Krümmungsradius $r + x$ beträgt, gegeben durch:

$$\frac{r+x}{r} l \left(1 + \frac{1}{n} \right) = l + \frac{r+(n+1)x}{nr} l.$$

Die Verlängerung beträgt also $\frac{r+(n+1)x}{nr}$. Da nun die resultirende Spannung innerhalb der Elasticitätsgrenzen dieser Grösse proportional ist, so ergibt sich als algebraischer Ausdruck derselben, wenn man die Dicke der Schicht mit dx bezeichnet,

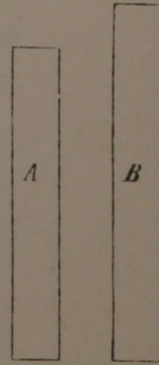
$$\frac{k}{nr} \left[r + (n+1)x \right] dx.$$

Der Coefficient k , welcher zu den bekannten Grössen hier noch hinzugekommen ist, hat einen constanten, nur von der Dehnbarkeit des Materials abhängigen Werth.

Lässt man nun die Variable x von $x = 0$ bis $x = \delta$ zunehmen und substituirt die

und aus diesem Grunde erachten wir es für rathsam, uns vorläufig mit einigen allgemeinen, durch Raisonement gewonnenen Resultaten zu begnügen.

Seien A und B (Fig. 217) zwei elastische Parallelepipede von nicht ganz gleicher Länge. Man denke sich nun B durch irgend eine Kraft, welche auf die obere Endfläche drückt, bis auf die Länge von A verkürzt und dann in allen Punkten der nach links gekehrten Fläche aufs Innigste mit A verbunden. Unter dieser Voraussetzung muss in dem Augenblicke, wo die beiden Parallelepipede sich selbst überlassen werden, eine Formveränderung eintreten, durch welche die positive Spannung in B insoweit gehoben wird, bis die dadurch hervorgerufene negative Spannung in A ihr das Gleichgewicht hält. Ist die Verschiebung der Moleküle nur in der Längsrichtung möglich, so beschränkt sich die Formveränderung auf eine grössere oder kleinere Streckung in der nämlichen Richtung, wobei jedoch die resultirende Länge immer kleiner ist, als die ursprüngliche von B . Haben dagegen die Spannkkräfte einen durchaus freien Spielraum nach allen Seiten, so tritt eine nach rechts convexe Krümmung ein, weil der rechte Rand in dem Bestreben sich auszudehnen geringern Widerständen begegnet, als der linke. Wir wollen die im einen und andern Falle resultirende Form als gerade und als gekrümmte Gleichgewichtslage von einander unterscheiden.



Figur 217.

successiven Werthe in obiger Formel, so erhält man die sämtlichen Spannungen, welche in den auf einander folgenden Schichten wirksam sind. Die Summe dieser Spannungen ist aber offenbar gegeben durch das Integral:

$$\frac{k}{nr} \int_0^{\delta} \left[r + (n+1)x \right] dx = \frac{k}{nr} \left\{ r\delta + \frac{n+1}{2} \delta^2 \right\}.$$

Ganz ebenso erhält man als Summe der positiven Spannungen in B , wenn die Verkürzung der äussersten Schicht $\frac{1}{n'}$ der ursprünglichen Länge beträgt und der Krümmungsradius derselben mit R bezeichnet wird — während die übrigen Grössen bloss durch Accente von den vorhergehenden unterschieden werden — das Integral:

$$\frac{k'}{n'R} \int_0^{\delta'} \left[R + (n'+1)y \right] dy = \frac{k'}{n'R} \left\{ R\delta' + \frac{n'-1}{2} \delta'^2 \right\}.$$

Die Gleichsetzung der zweiten Glieder ergibt:

$$\frac{k}{nr} \left[r\delta + \frac{n+1}{2} \delta^2 \right] = \frac{k'}{n'R} \left[R\delta' + \frac{n'-1}{2} \delta'^2 \right]$$

in welche Gleichung man bloss die nöthigen Data zu substituiren braucht, um die übrigen zu bestimmen. Sind z. B. r , δ , δ' bekannt und $k = k'$, so lässt sich bei gegebenen ursprünglichen Längen der Parallelepipede sowohl das Verhältniss von n zu n' als auch die Lage der neutralen Axe berechnen.

Wir halten es für überflüssig, die nach obiger Formel berechneten Beispiele mitzutheilen und bemerken nur, dass die Resultate der Rechnung mit unsern durch Raisonement erhaltenen Regeln übereinstimmen.

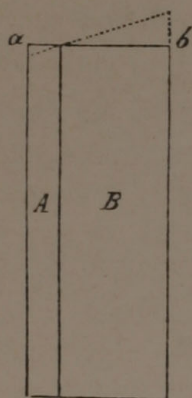
Die nähern Bedingungen dieser Gleichgewichtslagen lassen sich natürlich nur unter bestimmten Voraussetzungen über Querschnitt und Dehnbarkeit feststellen. Wir heben folgende Fälle hervor.

1) Haben A und B congruente Querschnitte und überdiess gleiche Dehnbarkeit und Elasticität, so muss die gerade Gleichgewichtslage offenbar dann eintreten, wenn die gemeinsame Länge der beiden Parallelepipede zwischen den beiden ursprünglichen Längen das Mittel bildet*). Bezeichnet man diese ursprünglichen Längen mit L und l und die gemeinsame resultirende mit L' , so ist $L' = \frac{L+l}{2}$. — Lassen wir jetzt die gerade Gleichgewichtslage in die gekrümmte übergehen, so wird der linke Rand in unserer Figur sich hierbei etwas verkürzen und der rechte sich eben so stark verlängern, wogegen die in der Mitte befindliche Berührungsfläche ihre ursprüngliche Länge beibehält. Da nun diese Berührungsfläche auf einem Durchschnitt parallel der Papierebene als Linie erscheint, so wollen wir in der Folge jede solche Linie, die beim Uebergang aus der geraden in die gekrümmte Gleichgewichtslage sich weder verlängert noch verkürzt, ganz allgemein als neutrale Axe unterscheiden. In unserem Falle liegt also die neutrale Axe in der Mitte zwischen den beiden Rändern.

2) Haben A und B ungleiche Querschnitte, aber gleiche Dehnbarkeit, so ist die gemeinsame Länge in der geraden Gleichgewichtslage, wie man leicht einsieht, grösser oder kleiner als im vorhergehenden Fall, je nachdem B oder A im Querschnitt überwiegt. Der genaue Werth derselben ist gegeben durch die Formel:

$$(L - L') = \frac{1}{n} (L' - l),$$

worin L , L' und l die unter 1) erwähnten Längen bezeichnen, während $n : 1$ das Verhältniss des grössern Querschnittes zum kleinern ausdrückt.



Figur 218.

Denkt man sich nun die Berührungslinie einstweilen nicht dehnbar und lässt alsdann die gerade Gleichgewichtslage in die gekrümmte übergehen, so wird der rechte Rand sich nahezu bis zur Länge L ausdehnen und der linke sich um eine n mal kleinere Grösse verkürzen, d. h. es wird eine kleine Drehung der Kante ab (Fig. 218) um den unbeweglich gedachten Endpunct der Berührungslinie stattfinden. Das Ausdehnungsbestreben von B wird dadurch ungefähr zur Hälfte befriedigt; denn um den rechten Rand wieder auf die Länge L' zu verkürzen, wäre nahezu dieselbe Kraft erforderlich, die in der Berührungsfläche noch wirksam ist. Dagegen sind die Spannungen im Parallel-

*) Eine Kraft, welche einen elastischen Körper um $\frac{1}{n}$ verlängert, verursacht, wenn sie in entgegengesetzter Richtung wirkt, auch eine Verkürzung von $\frac{1}{n}$.

epiped A , auch wenn die Verkürzung des linken Randes etwas stärker ist als wir angenommen, nur um einen kleinen Bruchtheil vermindert; der übrig gebliebene Rest ist also jedenfalls überwiegend gegenüber demjenigen von B .

Geben wir jetzt der Berührungslinie ihre Dehnbarkeit wieder zurück, so wird sie der überwiegenden negativen Spannung von A sogleich nachgeben und sich etwas verkürzen. Die neutrale Axe kommt also jedenfalls mehr nach rechts, innerhalb B , zu liegen.

3) Haben A und B gleiche Querschnitte aber ungleiche Dehnbarkeit, so nähert sich die resultirende Länge offenbar mehr der ursprünglichen des weniger dehnbaren Parallelepipeds. Gehen wir von einem extremen Fall aus, indem wir uns A aus Elfenbein und B aus Kautschuk bestehend denken, so müsste die Streckung von A im Vergleich mit der Verkürzung von B verschwindend klein ausfallen und könnte daher ohne merklichen Fehler $= 0$ gesetzt werden. Eine Krümmung müsste aber nichtsdestoweniger auch unter dieser Voraussetzung eintreten, wofern nur die beiden isolirt gedachten Lamellen lang genug sind. War aber die gemeinsame Länge in der geraden Gleichgewichtslage der ursprünglichen von A nahezu gleich, so wird die Lamelle A bei der Krümmung sich auf der linken Seite etwas verkürzen und auf der rechten verlängern, ganz so, als ob sie durch seitlich wirkende Kräfte gekrümmt würde. Die neutrale Axe würde also unter dieser Voraussetzung beinahe in die Mitte von A herübrücken, und wir dürfen hieraus den Schluss ziehen, dass dieselbe auch in den Fällen, wo die Streckung von A nicht Null, sondern nur geringer ist als die Verkürzung von B , stets etwas links von der Berührungslinie zu liegen kommt, und zwar um so mehr, je grösser die Differenz in der Dehnbarkeit.

Zu demselben Resultat gelangen wir auch durch die für den vorhergehenden zweiten Fall gewählte Betrachtungsweise. Denkt man sich nämlich die Berührungslinie zwischen A und B nicht dehnbar und lässt nun die gerade Gleichgewichtslage in die gekrümmte übergehen, so wird sich der linke Rand von A , wenn dieses nur wenig verlängert war, hiebei auf seine ursprüngliche Länge zusammenziehen und dadurch das Maass der negativen Spannung auf die Hälfte reduciren. Dagegen kann sich B , welches stark verkürzt war, relativ nur wenig verlängern; der Rest der positiven Spannung wird daher, sobald wir uns die Berührungslinie wieder dehnbar denken, die negative von A überwiegen und folglich eine Streckung der Berührungslinie veranlassen. Die neutrale Axe kommt also jedenfalls innerhalb A zu liegen.

Ebenso müsste im entgegengesetzten Falle, wenn A dehnbarer als B , ein Hinübrücken der neutralen Axe auf die rechte Seite der Berührungslinie sich als nothwendige Folge herausstellen.

4) Haben A und B ungleichen Querschnitt und ungleiche Dehnbarkeit, so behalten die unter 2) und 3) abgeleiteten Schlüsse im Allgemeinen ihre

Geltung, d. h. die neutrale Axe fällt in der Regel nicht in die Berührungslinie. Das Verhältniss der Querschnitte lässt sich übrigens in verschiedener Weise mit dem der Dehnbarkeit combinirt denken, so dass die Wirkungen der Ungleichheit sich bald gegenseitig unterstützen, bald theilweise aufheben, und im letztern Falle bald das Verhältniss der Querschnitte, bald das der Dehnbarkeiten den Ausschlag giebt.

- 405** Will man den Widerstand, den ein Körper der Biegung durch eine seitliche Kraft entgegensetzt, als Ausgangspunct zur Bestimmung seiner Elasticitätsverhältnisse benutzen, oder will man umgekehrt jenen aus diesen ableiten, so kann diess nur auf Grund der Beziehungen geschehen, welche die Mechanik zwischen der Elasticität und Dehnbarkeit der Substanz einerseits und der Biegungsgrösse bei gegebener Form und Belastung des Körpers andererseits festgestellt hat. Von diesen Beziehungen heben wir folgende hervor.

- 1) Wird ein homogener Körper, z. B. ein Stück eines Metalldrahtes, in verticaler Stellung mit dem obern Ende eingespannt und am untern Ende belastet, so kann durch allmähliges Steigern der Belastung direct bestimmt werden, welches Gewicht der Körper innerhalb der Elasticitätsgrenze zu tragen vermag. Ebenso ist die Querschnittsfläche aus den gegebenen Dimensionen direct bestimmbar. Ist folglich die zulässige Maximalbelastung $= Q$, der Querschnitt $= F$, so bestimmt sich das Tragvermögen T pro Flächeneinheit oder das Tragmodul nach der Formel $T = \frac{Q}{F}$.

Beispiel: Eine Eisenstange von $25 \square^{\text{mm}}$ Querschnitt trägt 327,5 Kilo ohne bleibende Verlängerung. Das Tragvermögen beträgt hienach $\frac{327,5}{25} = 13,1$ Kilo pro \square^{mm} .

- 2) Im Tragmodul ist die Dehnbarkeit der Substanz nicht enthalten. Ein Bastbündel kann z. B. dasselbe Tragvermögen besitzen, wie ein Eisen draht von gleichem Querschnitt; allein der letztere dehnt sich bei der Maximalbelastung nur um 1 per Mille, der Bast dagegen um c. 40 per Mille aus. Andere Substanzen sind noch in viel höherem Grade dehnbar. Eine genauere Bezeichnung der Elasticitätsverhältnisse setzt also auch die Berücksichtigung der Dehnbarkeit als eines zweiten maassgebenden Factors voraus. Dieser zweite Factor ist arithmetisch gegeben durch das Verhältniss der beobachteten Verlängerung (im belasteten Zustande) zur ursprünglichen Länge. Durch Division desselben in das Tragmodul erhält man das sogenannte Elasticitätsmodul, eine Zahl, in welcher alle die Elasticität betreffenden Momente enthalten sind. Ist also das Tragvermögen pro Flächeneinheit $= T$, die ursprüngliche Länge $= l$, die Verlängerung in Folge der Belastung $= \lambda$, so hat man für das Elasticitätsmodul E :

$$E = T \cdot \frac{l}{\lambda}.$$

Beispiel: Die mechanischen Zellen von *Molinia coerulea* besitzen ein Tragvermögen von 22 Kilo per \square^{mm} . Die Verlängerung in Folge der Belastung beträgt 5,2 auf 475 oder e. 44 auf 1000. Das Elasticitätsmodul ist also $= 22 \cdot \frac{1000}{44} = 2000$ Kilogramm-millimeter.

3) Wird ein Körper, z. B. ein prismatischer Stab, durch seitliche Kräfte gebogen, so kommt für die Bestimmung der Gleichgewichtslage ausser dem Elasticitätsmodul noch eine andere Zahl in Betracht, welche von der Form und Grösse des Querschnittes abhängig ist: es ist das Trägheitsmoment der Querschnittsfläche oder das Maass des Bieugungsmomentes. Für jedes einzelne Flächenelement ist dieses Maass gleich dem Product seines Flächeninhaltes mit dem Quadrat der Entfernung von der neutralen Ebene; für den ganzen Querschnitt ist es die Summe dieser Producte. Man erhält diese Summe approximativ durch Addition, genauer durch Integration. Bezeichnet man also die Flächenelemente, in welche man den ganzen Querschnitt zerlegt hat, mit $f_0 f_1 f_2 \dots$ und die zugehörigen Entfernungen von der Neutralen mit $d_0 d_1 d_2 \dots$, so ist das Maass W des Bieugungsmomentes für den ganzen Querschnitt gegeben durch:

$$W = f_0 d_0^2 + f_1 d_1^2 + f_2 d_2^2 + \text{etc.}$$

Beispiel: Bei einem horizontal eingespannten und belasteten Lineal mit quadratischem Querschnitt, dessen neutrale Ebene selbstverständlich in der Mitte zwischen Ober- und Unterseite liegt, sei jede Seite des Quadrats $= 10^{\text{mm}}$. Zerlegen wir nun das Quadrat durch Linien, welche mit der Ober- und Unterseite parallel gehen, in 10 Zonen von je 1^{mm} Höhe, so ist der Quadratinhalt jeder Zone $= 10 \square^{\text{mm}}$, und die Abstände ihrer Schwerpunkte von der Neutralen betragen für die beiden innersten $= \frac{1}{2}^{\text{mm}}$ und für die folgenden Paare der Reihe nach $\frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \frac{9}{2}^{\text{mm}}$. Das Maass des Bieugungsmomentes ist also:

$$20 \cdot \left[\left(\frac{1}{2} \right)^2 + \left(\frac{3}{2} \right)^2 + \left(\frac{5}{2} \right)^2 + \left(\frac{7}{2} \right)^2 + \left(\frac{9}{2} \right)^2 \right] = 20 \cdot \frac{165}{4} = 825.$$

Die genauere Berechnung mittelst Integration unendlich kleiner Flächen giebt $833\frac{1}{3}$.

4) Die Maasse der Bieugungsmomente fallen nach dem Vorhergehenden um so grösser aus, je weiter die Flächenelemente von der Neutralen entfernt sind; der mittlere Abstand ist hiebei maassgebend. Hohle Träger besitzen demzufolge bei gleicher Grösse der Querschnittsfläche einen höhern Grad der Bieugungsfestigkeit als solide, ebenso Träger mit T-förmigem Querschnitt einen höhern als parallelepipedische etc. Einige Formeln für die häufigsten Trägerformen mögen als Beispiele dienen. Der Flächeninhalt des Querschnittes ist mit F bezeichnet.

Trägerform:	Maass des Biegemomentes:
Cylinder, Radius = r	$\frac{r^4 \pi}{4} = F \cdot \frac{r^2}{4}$
Hohlcylinder, Radien r und r_1	$F \cdot \frac{r^2 + r_1^2}{4}$
Rechteckiger Balken, Breite = b Höhe = h	$\frac{bh^3}{12} = F \cdot \frac{h^2}{12}$

5) Denken wir uns jetzt einen Körper von überall gleichem Querschnitt mit dem einen Ende horizontal eingespannt und am andern Ende mit dem Gewicht P belastet, so tritt in Folge dieser Belastung Biegung ein, und das belastete Ende senkt sich um eine Grösse, welche bei gegebenen Dimensionen einzig und allein vom Maass des Biegemomentes und vom Elasticitätsmodul abhängt. Ist z. B. l die Länge des Körpers, W das Maass des Biegemomentes und E das Elasticitätsmodul, so ist die Senkungsgrösse S gegeben durch die Formel:

$$S = \frac{l^3}{3WE} \cdot P$$

wobei indess das Eigengewicht des Körpers vernachlässigt ist.

Beispiel: Das unter 3) erwähnte Lineal von 10^{mm} Dicke sei mit dem einen Ende horizontal eingespannt und der freie Theil besitze eine Länge von 200^{mm}. Die Belastung am freien Ende sei gleich 6 Kilo und das Elasticitätsmodul $E = 4000$; dann ist

$$S = \frac{(200)^3}{3 \times 833\frac{1}{3} \times 4000} \cdot 6 = 6,4^{\text{mm}}.$$

6) Jeder einseitig befestigte Träger von gleichmässiger Dicke bricht in Folge zu grosser Belastung immer zunächst der Befestigungsstelle entzwei, weil hier der Hebelarm der Last am grössten ist. Soll daher der Widerstand für alle Querschnitte derselbe sein, so muss der Träger von der Befestigungsstelle nach dem freien Ende hin allmählig schwächer werden, und zwar in einem Verhältniss, das für jede Querschnittsform mathematisch bestimmbar ist. Bei einem solchen Träger »von gleichem Widerstand« erfolgt der Bruch an jeder beliebigen Stelle mit gleicher Wahrscheinlichkeit.

406 In ähnlicher Weise, wie bei der Biegung, kann auch die Formveränderung eines Organs unter dem Einfluss des hydrostatischen Druckes nur auf Grund einer genauen Kenntniss der Elasticitäts- und Dimensionsverhältnisse bestimmt werden. Hat z. B. eine safterfüllte Zelle von gegebener Form und Grösse einen Ueberdruck von n Atmosphären, welcher vom Zellsaft ausgeht und auf die Innenfläche der Membran wirkt, auszuhalten, so bestehen bezüglich der Inanspruchnahme der Wandung folgende Beziehungen.

1) Die Zelle sei cylindrisch, der Radius des Cylinders = r und die Wanddicke = d . Bezeichnen wir alsdann den Druck pro Flächenheit mit p , so ist die Inanspruchnahme in der Richtung des Umfanges, d. h.

der tangentielle Zug x , dem die Membran pro Flächeneinheit unterworfen ist, gegeben durch

$$x = \frac{rp}{d}.$$

Die Grösse p ist für eine Atmosphäre gleich dem Gewicht einer Quecksilbersäule von 760^{mm} Länge, welche auf der Flächeneinheit ruhend gedacht wird. Dieses Gewicht berechnet sich pro Quadratmillimeter auf 10,3275 Gramm; es steigt somit für n Atmosphären auf $n \cdot 10,3275$ Gramm. Ist z. B. der Ueberdruck = 6 Atmosphären, der Radius des Cylinders = 0,040^{mm}, die Wanddicke = 0,002^{mm}, so hat man für den tangentialen Zug per Quadratmillimeter:

$$x = \frac{0,04 \times 6 \times 10,3275}{0,002} = 1239 \text{ Gramm} = 1,239 \text{ Kilo.}$$

Steigt der Ueberdruck auf 10 Atmosphären, indess die Wanddicke auf 0,004^{mm} sinkt, so ergibt sich für die Inanspruchnahme der Membran:

$$x = \frac{0,04 \times 10,3275}{0,004} = 1032 \text{ Gramm} = 1,032 \text{ Kilo.}$$

In gleicher Weise kann auch für jede andere Combination der auf die Flächeneinheit wirkende tangentielle Zug berechnet werden. Man ersieht schon aus den obigen Ziffern, dass die Inanspruchnahme der Membran in Folge des hydrostatischen Druckes das zulässige Maximum nicht so bald erreicht.

Für die ebenen Endflächen der cylindrischen Zelle ergibt sich per Atmosphäre ein Druck von $r^2 \pi \cdot 10,3275$ Gramm, bei einem Radius von 0,04^{mm} und einem Ueberdruck von 10 Atmosphären also $(0,04)^2 \cdot \pi \cdot 103,275 = 0,516$ Gramm. Dieser Druck, welcher auf der ganzen freien Endfläche lastet, wird von derselben auf die Querschnittsfläche der cylindrischen Röhre übertragen. Diese Querschnittsfläche beträgt bei einer Wanddicke von 0,002^{mm} $= 2 r \pi \cdot 0,002 = 0,0005$ Quadratmillimeter, folglich die Inanspruchnahme per Quadratmillimeter $= \frac{0,516}{0,0005} = 1032 \text{ Gr.} = 1,032 \text{ Kilo.}$ Nimmt man die Wanddicke nur halb so gross an, so steigt natürlich die Inanspruchnahme per Flächeneinheit auf das Doppelte.

2) Die Zelle sei kugelförmig, der Radius der Kugel = r , die Wanddicke = d , der radiale Druck pro Flächeneinheit = p ; dann ist der tangentielle Zug x in der Wand gegeben durch

$$x = \frac{rp}{2d}.$$

Ist wie oben $r = 0,04$ ^{mm}, $d = 0,002$ ^{mm} und $p = 10$ Atmosphären oder = 103,275 Gramm per Quadratmillimeter, so hat man:

$$x = \frac{0,04 \times 103,275}{0,004} = 1032,75 \text{ Gramm} = 1,032 \text{ Kilo per } \square^{\text{mm}}.$$

3) In gleicher Weise kann natürlich auch der radiale Druck p berechnet werden, wenn der dadurch bedingte tangentielle Zug gegeben ist.

Bezeichnet man diesen Zug pro Flächeneinheit mit t , so ist für die cylindrische Zelle:

$$p = \frac{dt}{r},$$

und für die kugelförmige:

$$p = \frac{2dt}{r},$$

wobei d wiederum die Wanddicke und r den Krümmungsradius bedeutet. Man erhält diesen radialen Druck in Atmosphären, indem man die Grösse p , in Grammen ausgedrückt, durch 10,3275 dividirt.

Der longitudinale Zug, dem eine cylindrische Zelle ausgesetzt ist, lässt sich direct aus dem hydrostatischen Druck auf die Endflächen oder Querwände ableiten, da derselbe in seinem vollen Betrage von den Längswänden aufgenommen wird. Es sei z. B. ein System von cylindrischen oder prismatischen Zellen gegeben. Die gesammte Querschnittsfläche betrage $= 0,066 \square^{\text{mm}}$ und der Radius der einzelnen Zellen im Mittel $= 0,007^{\text{mm}}$. Dann ist der Querschnitt der Wandungen bei einer mittlern Dicke von $0,004^{\text{mm}}$ c. 3 Zehntel des Gesamtquerschnittes, also $= 0,02 \square^{\text{mm}}$. Gesetzt also, man habe den thatsächlich vorhandenen longitudinalen Zug oder, was dasselbe ist, die demselben das Gleichgewicht haltende Kraft auf experimentellem Wege zu 4,5 Gramm für den ganzen Querschnitt bestimmt und dabei eine Verlängerung von 10 Procent beobachtet *), so ergibt diess pro Quadratmillimeter Membransubstanz eine Belastung von $\frac{4,5}{0,02} = 75$ Gramm, und das Elasticitätsmodul E berechnet sich auf:

$$E = \frac{4,5 \times 100}{0,066 \times 10} = 227 \text{ Gramm-Millimeter.}$$

Der hydrostatische Druck der Zellflüssigkeit, in Atmosphären ausgedrückt, erreicht hiebei nach Obigem die Höhe von

$$\frac{4,5}{0,066 \times 10,3275} = 2,2 \text{ Atmosphären.}$$

3. Krümmung, Drehung, Winden.

407 Im Anschluss an die vorstehenden Betrachtungen über die gekrümmte Gleichgewichtslage sollen im Folgenden die Krümmungserscheinungen noch von einem andern Gesichtspunct aus erörtert und in ihrem Zusammenhange mit den Torsionen und dem Winden der Organe dargelegt werden.

1) **Krümmung.** Eine Krümmung cylindrischer oder prismatischer Organe tritt ein, wenn eine beliebige longitudinale Zone derselben sich stärker verlängert oder verkürzt als die gegenüber liegende. Der erstere

*) Vgl. Pfeffer, physiol. Unters. p. 449.

Fall bedingt eine Längenzunahme des ganzen Organs, der zweite eine Verkürzung desselben. Verhalten sich zwei opponirte Längenzonen entgegengesetzt, indem die eine sich verlängert und die andere sich verkürzt, so ist die dadurch bewirkte Krümmung des Organs nicht nothwendig mit einer Verlängerung oder einer Verkürzung desselben verbunden. Zwischen den antagonistischen Kräften ist vielmehr stets ein Verhältniss denkbar, bei welchem die Axe des Organs ihre ursprüngliche Länge beibehält.

Als Ursachen der Verlängerung können verschiedene Vorgänge wirksam sein: intensiveres Wachsthum der betreffenden Zone, stärkere Ausdehnung in Folge der Wasseraufnahme, stärkerer Zug einer äussern Kraft etc.; ebenso als Ursache der Verkürzung: rascheres Austrocknen, stärkerer Druck einer äussern Kraft.

Die Krümmung ist schon in Folge der Verlängerung der convexen und der Verkürzung der concaven Seite nothwendig mit einer Verschiebung der Theilchen verknüpft, welche einen Zustand der Spannung zwischen denselben herbeiführt. Die kleinsten Theilchen werden auf der einen Seite gegen einander gedrückt und darum einander genähert, auf der andern Seite auseinander gezogen und darum etwas weiter von einander entfernt. Im ersten Fall heisst die resultirende Spannung *Druckspannung*, im zweiten *Zugspannung*. Ausser diesen Spannungen in longitudinaler Richtung kommen in Folge der Krümmung noch andere zur Geltung, sowohl Druck- als Zugspannungen, welche quer oder schief zur Längsaxe gerichtet sind.

2) *Drehung*. Ein Körper wird als gedreht bezeichnet, wenn ursprünglich longitudinale Seitenlinien derart verschoben sind, dass sie nun als Schraubenlinien erscheinen. Eine solche Drehung muss stattfinden:

a) wenn die peripherischen Schichten stärker in die Länge wachsen als die innern, oder wenn diese letztern, beispielsweise in Folge von Wasserabgabe, sich mehr verkürzen. Im erstern Fall tritt nothwendig Verlängerung des ganzen Organs, im letztern Verkürzung desselben ein. Hohlcyliner verhalten sich wie solide, wenn eine bemerkbare Differenz zwischen den innern und äussern Schichten vorhanden ist;

b) wenn die einzelnen Elemente des Organs das Bestreben haben, sich zu drehen. Denn es ist klar, dass beim Drehen eines Cylinders auch dessen kleinste Theile (Zellen, Molecülgruppen etc.) gedreht werden. Umgekehrt muss also auch ein Drehungsbestreben dieser Theile die Torsion des ganzen Cylinders zur Folge haben;

c) wenn die quadratischen Flächenelemente concentrischer Schichten das Bestreben haben, rhombisch zu werden. In diesem Falle muss die Drehung auch beim dünnsten Cylindermandel stattfinden, da eine bestimmte Dicke in der Bedingung nicht enthalten ist.

Wie die Drehung auch zu Stande kommen mag, immer bestehen zwischen den Längen correspondirender Linien vor und nach derselben

bestimmte Beziehungen, von denen wir folgende hervorheben. Es sei die ursprüngliche Länge des Cylinders $= m$, die Längenzunahme in Folge der Drehung $= n$, eine etwaige Längenabnahme folglich $= -n$; dann ist die Länge der correspondirenden Seitenlinien für die concentrischen Schichten, deren Entfernung von der Axe $= 0, 1, 2, 3 \dots$ Einheiten beträgt, bei einer Drehung von $\frac{360}{2\pi}$ Grad gegeben durch

$$m \pm n, \sqrt{(m \pm n)^2 + 1}, \sqrt{(m \pm n)^2 + 4}, \sqrt{(m \pm n)^2 + 9}, \text{ etc.},$$

und bei einer beliebigen Drehung von δ Grad durch

$$m \pm n, \sqrt{(m \pm n)^2 + \frac{\delta^2 \cdot 4\pi^2}{360^2}}, \sqrt{(m \pm n)^2 + \frac{\delta^2 \cdot 16\pi^2}{360^2}}, \\ \sqrt{(m \pm n)^2 + \frac{\delta^2 \cdot 36\pi^2}{360^2}}, \text{ etc.}$$

Wenn folglich die Wachstumsverhältnisse der successiven Schichten obiger Reihe entsprechen, so setzen sich die resultirenden Spannungen vollständiger in Drehung um, als in jedem andern Fall. Je grösser die Abweichungen von dieser Reihe, desto kleiner ist die drehende Kraft im Verhältniss zur Gesamtsumme der entgegengesetzten Spannungen, die sich das Gleichgewicht halten.

In Uebereinstimmung mit dem geometrischen Verhalten der Seitenlinien, wonach dieselben um so stärker verlängert oder verkürzt werden, je weiter sie vom Centrum abstehen, wächst auch der Widerstand, den sie einer drehenden Kraft entgegensetzen, mit dem Radius. Ein hohler Wendelbaum ist demgemäss bei gleicher Querschnittsfläche stärker als ein solider und erfährt daher durch die nämliche Torsionskraft eine weniger starke Drehung. Man begreift also, dass dicke Organe, wie z. B. ältere Stämme, sich weniger leicht drehen als schlanke, und bei gleichem Querschnitt hohle Organe weniger leicht als solide.

Welche der bezeichneten Ursachen in einem gegebenen Falle wirksam sei, ist nicht immer leicht zu entscheiden; doch giebt es nahe liegende Beispiele, welche mit Rücksicht hierauf kaum einen Zweifel gestatten. Die flachen Bastbänder der Linde drehen sich z. B. beim Austrocknen, weil hiebei — wie überhaupt bei jeder Aenderung des Wassergehaltes — die einzelnen Zellen eine schwache Torsion vollziehen. Dieselbe Ursache liegt voraussichtlich auch den Drehungserscheinungen zu Grunde, welche man an den Grannen von *Avena sterilis* und andern ähnlichen Objecten beobachtet.*) Dagegen beruht die Torsion des fadenförmigen Thalloms von *Usnea longissima* unzweifelhaft auf dem stärkern Längenwachsthum der Rinde.

408 Besondere Erwähnung verdienen die Torsionserscheinungen

*) Die Erklärung, welche Hildebrand (Jahrb. f. wiss. Bot. IX, p. 270) von diesen Drehbewegungen giebt, ist unrichtig.

bei flachen oder rinnenförmigen Bändern. Ein solches Band kann sich verhalten wie der entsprechende Theil eines Cylinders, den man sich z. B. als Medianschnitt oder als Längenzonzone eines Cylindermantels denken mag. Es muss sich demgemäss drehen, wenn die Randpartieen stärker wachsen als die mittlern, oder wenn die letztern sich stärker verkürzen; desgleichen in Folge des Torsionsbestrebens in den einzelnen Zellen und beim Rhombischwerden ursprünglich quadratischer Flächenelemente, wobei jedoch die letztern tangential zur Axe des entsprechenden Cylinders — beim ebenen Bande also rechtwinklig oder schief zur Flächenausdehnung — gestellt sein müssen. In all diesen Fällen entsteht eine doppelte Wendeltreppe mit geradliniger Axe und schraubenlinig verlaufenden Rändern.

Denkt man sich das um seine Axe gedrehte Band in zwei gleiche Hälften getheilt, so stellt jede derselben eine einfache Wendeltreppe dar, deren einer Rand geradlinig erscheint, während der andere dieselbe Schraubenlinie beschreibt, wie im vorhergehenden Fall. Man darf aber nicht übersehen, dass die Verschiedenheiten des Längenwachstums zwischen den benachbarten Longitudinallinien hier nicht immer eine Drehung bewirken. Sobald nämlich das Längenwachsthum von einem Rande zum andern bloss in arithmetischem Verhältniss zunimmt, erfolgt eine einfache Krümmung in der Ebene. Jedes andere Verhältniss der Zunahme führt dagegen auch hier zur Wendellinie.

Eine schraubenlinige Drehung muss unter Umständen sogar stattfinden, wenn das betreffende Organ bloss zwei Schichten, aber von sehr ungleicher Dehnbarkeit, unterscheiden lässt. Zwar zeigt das Organ in diesem Fall zunächst bloss das Bestreben, sich uhrfederartig zu krümmen; allein wenn die Krümmungen einen sehr kleinen und überdiess durchgehends ungefähr denselben Radius haben, so schieben sie sich nach der einen oder andern Seite aus der Ebene heraus, wie man das beispielsweise bei manchen enggewundenen Ranken beobachtet. Ist nun die Krümmung so stark, dass der Radius der innern Windungen so zu sagen auf Null reducirt ist, so entsteht abermals die einfache Wendeltreppe. Man sieht, dass es sich hier um Vorgänge handelt, welche zwischen Drehen, Krümmen und Winden die Uebergänge bilden.

3) Winden. Wir haben im Vorhergehenden im Anschluss an ver- 409 wandte Torsionserscheinungen einige Fälle aufgeführt, welche strenge genommen hieher gehören. Denn sobald man Drehen und Winden scharf auseinander halten will, bleibt kaum etwas Anderes übrig, als jede Torsion um eine excentrische Axe zu den Erscheinungen des Windens zu zählen. Ein Stamm ist demnach gewunden, wenn derselbe ein excentrisches Mark besitzt und um eine damit zusammenfallende Axe gedreht erscheint. Findet die Drehung um die geometrische Axe statt, so beschreibt das excentrische Mark eine Schraubenlinie.

Nach dem, was oben über die Drehung gesagt wurde, kann das Winden bedingt sein:

a) durch die Längenabnahme oder Längenzunahme der Schichten mit der Entfernung von der excentrischen Axe, wobei zu beachten, dass wenn die Drehungsaxe ausserhalb des Organs liegt und das Verhältniss der Längenzunahme zum Abstand von der Drehungsaxe ein arithmetisches ist, bloss Krümmung erfolgt. Wie für den Fall des Windens der Durchmesser der Windungen für die Innen- und Aussenseite sich bestimmen lässt, mag an einem Beispiel erläutert werden. Es seien gegeben drei verschiedene Schichten, deren ursprünglich gerade Seitenlinien im gewundenen Zustande, auf einen ganzen Umlauf bezogen, 44, 46 und 20^{mm} Länge besitzen. Der gegenseitige Abstand der Schichten, die man sich durch Stifte verbunden denken mag, sei = 5^{mm}. Alsdann bilden die drei Schraubenlinien in der Projection auf die eben gelegte Cylinderfläche drei divergirende schiefe Linien, deren Enden auf der einen (z. B. obern) Seite im nämlichen Punkte der Verticalen zusammentreffen, während sie auf der andern Seite (z. B. mit dem Fussende) in Abständen von $2\pi x$, $2\pi(x+5)$ und $2\pi(x+10)$ ^{mm} die Horizontale schneiden, wenn nämlich x den Radius der innersten Windung bezeichnet. Die Länge $2\pi x$ wird am besten durch Probiren mit dem Zirkel bestimmt, wobei die Dimensionen zweckmässig in vergrössertem Maassstabe aufgetragen werden. Man erhält hierfür annäherungsweise = 0,77^{mm}, folglich für $x = \frac{4}{2\pi} \cdot 0,77 = 0,42$ ^{mm}. Die beiden andern Radien sind alsdann 5,42 und 10,42^{mm}.

Die Reihe, welche wir oben für die Torsion aufgestellt haben, gilt allgemein auch für das Winden. Die Längen der ursprünglich geraden Seitenlinien nehmen hienach im gewundenen Zustande mit der Entfernung von der Axe in einem andern Verhältniss zu, als diese Entfernungen selbst. Setzen wir die ursprüngliche Länge des Organs = m und die Längenzunahme in Folge des Windens = n , so ergeben sich für die Seitenlinien, welche den Abständen 0, 1, 2, 3 ... von der Axe entsprechen, die Werthe:

$$m + n, \quad \sqrt{(m + n)^2 + \frac{\delta^2 \cdot 4 \pi^2}{3600}}, \quad \sqrt{(m + n)^2 + \frac{\delta^2 \cdot 16 \pi^2}{3600}}, \\ \sqrt{(m + n)^2 + \frac{\delta^2 \cdot 36 \pi^2}{3600}}, \text{ etc.}$$

410 Winden muss ferner stattfinden:

b) wenn die einzelnen Zellen das Bestreben haben, sich zu drehen, und wenn zugleich die Längendifferenzen, welche unter dem Einfluss der gegebenen Widerstände zwischen den äussern und innern Schichten zu Stande kommen, mit der Entfernung von der Axe zu- oder abnehmen, wie die Glieder der oben aufgestellten Reihe, — ein Verhältniss, das namentlich beim Austrocknen der Organe hin und wieder zu Stande kommen dürfte;

c) wenn die tangential zur Axe gestellten quadratischen Flächenelemente das Bestreben haben, rhombisch zu werden, und wenn im Uebrigen die unter b) bezeichneten Bedingungen erfüllt sind;

d) wenn das Organ, gleichviel aus welcher Ursache, sich um eine centrale Axe dreht und zugleich krümmt; die Krümmungsebene im gewundenen Zustand ist alsdann identisch mit derjenigen, welche vor der Drehung radial gestellt war, was sofort einleuchtet, wenn man in Gedanken zuerst die Krümmung und dann die Drehung vollzieht;*)

e) wenn die übereinander liegenden Stücke eines Organs sich nach verschiedenen Seiten krümmen, indem z. B. das unterste (aufrecht gedachte) Stück nach Süden, das folgende nach Osten, das dritte nach Norden ausbiegt u. s. f. In diesem Falle würden die ursprünglich geraden Seitenlinien im gewundenen Organ den Windungen entgegengesetzte, d. h. antidrome Schraubenlinien darstellen, welche letztere auf jede Windung einen Umlauf beschreiben. Dieses Verhalten müsste uns beispielsweise bei den windenden Stengeln entgegen treten, welche sich angeblich in Folge ihrer rotirenden Nutation an die Stütze anschmiegen,**) natürlich unter der Voraussetzung, dass der ursprüngliche Verlauf der Seitenlinien nicht etwa durch nachträgliche Torsionen gestört worden sei.

Anderweitige Ursachen des Windens, denen man scheinbar hin und 411 wieder begegnet, erweisen sich bei genauerer Betrachtung als identisch mit den im Vorhergehenden bezeichneten. So ist z. B. das Aufrollen eines Bandes, etwa eines Papierstreifens, um eine schief zur Längenausdehnung gestellte Axe nichts Anderes als eine Verwandlung ursprünglich quadratischer Flächenelemente in rhombische. Das Rollen bedingt in der zur künftigen Axe rechtwinkligen Richtung eine einfache Krümmung, wobei die äussern Schichten eine dem Radius entsprechende grössere Ausdehnung erhalten als die innern; in jeder andern Richtung dagegen ist das Verhältniss der Verlängerungen oder Verkürzungen, welche die verschiedenen Schichten erfahren, ein nicht-arithmetisches, ähnlich wie bei den Schraubenlinien einer Wendelfläche. — Bei den Ranken genügt die Annahme einer uhrfederartigen Krümmung, wie sie vor der Befestigung an einer Stütze thatsächlich stattfindet, auch für das Verhalten nach der Befestigung. Die beiden Befestigungspunkte sind nämlich als Sitze von Kräften zu be-

*) Wenn ein Cylinder sich erst krümmt und dann zu drehen beginnt, so ist damit angedeutet, dass das arithmetische Verhältniss zwischen Längenzunahme und Radius in ein nicht-arithmetisches übergegangen ist. Obiger Fall ist demnach von dem zuerst erwähnten nicht wesentlich verschieden.

**) Vgl. H. de Vries, zur Mechanik der Bewegungen der Schlingpflanzen, in »Arbeiten d. bot. Inst. z. Würzburg« III, 1873. Wir halten die in dieser Abhandlung ausgesprochene Ansicht bezüglich der Bedeutung, welche der Nutation zugeschrieben wird, nicht für hinlänglich begründet. Der Verfasser hat sich die geometrischen Consequenzen seiner Ansicht offenbar nicht klar genug zurecht gelegt; seine Experimente, obschon zum Theil recht sinnreich ausgedacht, lassen nahe liegende Fragen unbeantwortet.

trachten, welche die uhrfederartigen Windungen zu Schraubenlinien auseinander ziehen. Bekannt ist, dass die so entstehenden Schraubenlinien zur Hälfte rechts und zur andern Hälfte links gewunden sind. Eine weitere mechanische Nothwendigkeit ist das Rotiren des Wendepunctes zwischen den gegenläufigen Schraubenlinien; soviel gleichsinnige Windungen, soviel Umläufe des Wendepunctes.

- 412 Mit den Windungen der Ranken gewissermaassen vergleichbar sind die spiralig gewundenen Oscillarien (*Spirillum*, *Oscillaria*) und die Spermatozoen der höhern Kryptogamen. Die Schrauben, die wir bei diesen Objecten beobachten, sind bis dahin in zweierlei Weise gedeutet worden: die Einen halten sie für starre, die Andern für bewegliche Gebilde. Wenn sie starr sind, ergeben sich alle beobachteten Erscheinungen aus ihrer Drehung um die Axe, und das scheinbare Schlängeln ist eine durch die Kleinheit des Objects verursachte Täuschung (s. oben p. 244). Sind dagegen die Schrauben beweglich oder flexibel, so ist eine schlängelnde Bewegung wirklich vorhanden, und der mechanische Vorgang bedarf einer besondern Auseinandersetzung.

Betrachten wir zunächst das Schlängeln in der Ebene, wie es bei der Bewegung der schlangenartigen Reptilien wirklich stattfindet. Hier entspricht eine beliebige Stelle auf der Seitenlinie des Körpers bald der concaven, bald der convexen Seite der Biegungen, und das Maximum der Ausbiegung ist in jedem folgenden Zeitmoment in der Längsrichtung mehr oder minder verschoben. Die Bewegung ist eine wellenähnliche; sie schreitet von einem Ende des Körpers zum andern fort; wie die Schwingungen eines gespannten Seiles, das am einen Ende erschüttert wird. Erwägt man nun, dass ein Wellenberg, der in der Längsrichtung rasch fortschreitet, den Widerstand des umgebenden Mediums zu überwinden hat, so begreift man, dass von letzterm ein Gegenstoss ausgeht, welcher den sich schlängelnden Körper in der Richtung dieses Stosses verschiebt. Geht daher die Wellenbewegung vom Kopf zum Schwanz, so bewirkt der beiderseitige Gegenstoss eine Bewegung des Körpers nach vorwärts.

Diese Resultate lassen sich ohne Weiteres auf die Schraube übertragen. Der Unterschied beruht bloss darauf, dass beim Schlängeln in der Ebene bloss zwei opponirte Seitenlinien oder Längszonen des Körpers, die rechte und die linke, an der longitudinal fortschreitenden Wellenbewegung activ theilhaftig sind, während die schlängelnde Bewegung schraubenförmiger Körper der Reihe nach alle Seitenlinien desselben in gleicher Weise in Anspruch nimmt. Der resultirende Effect ist hier zunächst eine Drehung der Schraube um ihre Axe, und zwar findet diese Drehung in derselben Richtung statt, in welcher die Bewegung (z. B. das Maximum der Ausdehnung) von einer Seitenlinie zur benachbarten übergeht. Der ganze Vorgang ist aber von dem scheinbar übereinstimmenden einer starren Schraube dadurch verschieden, dass eine Drehung des gewundenen Körpers

um seine Axe nicht stattfindet. Vielmehr bleibt ein beliebiger Punct, der z. B. bei einer liegenden Schraube dem Zenith zugekehrt ist, während des Schlängelns immer in gleicher Lage, d. h. immer zenithwärts gerichtet; nur bewegt er sich im Kreise um die Axe der ganzen Schraube herum. Um von dieser Bewegung eine richtige Vorstellung zu gewinnen, denke man sich, eine Schlange krümme sich nicht bloss nach rechts und nach links, sondern überdiess auch nach der Rücken- und Bauchseite hin. Der Rücken bleibt alsdann selbstverständlich immer nach oben gewendet, aber jeder Punct desselben rotirt in einer senkrechten Ebene. — Der Widerstand des Mediums bedingt sodann zweitens ein Vorrücken des Objects im gleichen Sinne, wie beim Schlängeln in der Ebene, d. h. die Bewegungsrichtung der ganzen Schraube ist der Richtung des Fortschreitens der Welle in jeder einzelnen Seitenlinie entgegengesetzt. Uebrigens ist der Mechanismus der flexibeln Schraube in Bezug auf Fortbewegung genau derselbe wie bei der starren Schraube.

Die schlängelnde Bewegung der Organismen hat eine entfernte Aehn- 413
lichkeit mit den Nutationserscheinungen, und in der That ist dieselbe auch schon in diesem Sinne gedeutet worden. *) Dieser Auffassungsweise widersprechen nun aber die bekannten Thatsachen. Die Oscillarien sind geradlinige Fäden mit gekrümmtem oder schraubenförmigem Ende. Wenn sich dieses Ende wie eine flexible Schraube verhielte und sich somit nicht um seine eigene Axe drehte, so könnte auch der übrige Faden sich nicht drehen. Da derselbe nun aber thatsächlich rotirt, so kann auch das Ende sich nur wie eine starre Schraube bewegen. Ein weiterer Grund gegen die Annahme, dass schraubenförmige Pflanzen, wie *Spirulina* und *Spirillum*, sich schlängelnd bewegen, liegt in der nahen Verwandtschaft dieser Organismen mit geradlinigen Oscillarien und Bakterien. Da diese sich nachweisbar um ihre Axe drehen, so muss dieselbe Drehung und folglich die starre Form der Schraube auch für jene angenommen werden.

In mechanischer Hinsicht verdient noch bemerkt zu werden, dass eine 414
Schraube, die sich im Wasser rasch dreht, wegen der ungleichen Vertheilung der Massen um die Axe (man denke an die beiderseitigen Endstücke) dergestalt um ihren Schwerpunct schwingen muss, dass jede Hälfte der Axe einen spitzen Trichter beschreibt. Diese Schwingungen müssen um so deutlicher hervortreten, je kleiner die Zahl der Windungen; sie verschwinden, wenn die letztere sehr gross wird.

Die Vorwärtsbewegung der Schraube betreffend, so liegt es nahe, dieselbe als eine Folge der Drehung zu betrachten. Da jedoch die geradlinigen Oscillarien und Bakterien ebenfalls fortschreitende Bewegung zeigen, so ist einleuchtend, dass ausser der Drehung noch andere Kräfte im Spiele sind. *

*) Vgl. Hofmeister, Pflanzenzelle, p. 320; ferner: Ueber die Bewegungen der Fäden der *Spirogyra princeps*, in den Württemberg. naturwiss. Jahreshften, 1874.

Man kann also nur sagen, dass die schraubenlinige Form der Organismen die fragliche Bewegung beschleunige.

4. Innerer Bau der festen Körper.

415 Die festen Körper zerfallen nach der Anordnung ihrer kleinsten Theile und nach den damit zusammenhängenden Eigenschaften in zwei grosse Kategorien: in organisirte und unorganisirte Körper. Erstere sind quellungsfähig, d. h. sie besitzen das Vermögen, Wasser und wässrige Lösungen bis zu einem bestimmten Grenzverhältniss, das nicht überschritten wird, zwischen ihre kleinsten Theile einzulagern und beim Trocknen wieder abzugeben, ohne dabei ihre Molecularconstitution zu ändern. Letztere dagegen sind nicht quellungsfähig; eine Einlagerung von Wasser findet entweder nur in gröbliche Räume statt, oder sie bedingt, wenn das Wasser in hinreichender Menge geboten wird, die Lösung der Körper.

Uebergänge zwischen diesen Kategorien giebt es, genau genommen, nicht. Die Colloidsubstanzen (Gummi, Leim) sind nicht im bezeichneten Sinne quellungsfähig, da die Volumenzunahme, welche das eindringende Wasser bedingt, unbegrenzt fort dauert und zur Lösung führt.

Sowohl bei organisirten als bei nicht organisirten Körpern muss unterschieden werden zwischen den mikroskopisch nicht wahrnehmbaren Micellarinterstitien und allfälligen gröblichen Zwischenräumen, die in der Substanz auftreten.*) Wir wollen die Körper, in welchen solche Zwischenräume vorkommen, als grobporöse von den übrigen nicht grobporösen unterscheiden. Zu jenen gehören beispielsweise unter den organisirten das Holz und die Knochen, unter den nicht organisirten der Hydrophan und die Sphaerokrystalle der Acetabularien**); zu diesen einerseits die Stärkekörner, Membranen etc., andererseits die gewöhnlichen Krystalle. Ob das Collodium organisirt oder nicht organisirt sei, scheint uns zweifelhaft; jedenfalls ist es grobporös.

Die gröblichen Zwischenräume lassen sich nicht immer ohne Weiteres erkennen, namentlich dann nicht, wenn sie (wie bei den oben erwähnten Sphaerokrystallen) sehr klein und zahlreich und mit einem flüssigen Medium erfüllt sind. Ihr Vorhandensein verräth sich aber sogleich, wenn man die Substanz etwas erwärmt, bis die Flüssigkeit durch Verdunstung ver-

*) Die physikalischen Lehrbücher unterscheiden gewöhnlich nicht zwischen Porosität und Imbibitionsfähigkeit. Sie betrachten das Eindringen von Wasser und wässrigen Lösungen in vegetabilische Membranen, ganz wie das Eindringen in ein Stück Kreide, als eine einfache Porositätserscheinung (vgl. z. B. Müller-Pouillet, Lehrb. der Phys. p. 20).

**) Siehe das Nähere hierüber bei Nägeli: Sitzungsber. d. k. bayer. Akad. d. Wiss. zu München, Vortrag vom 8. März 1862. Vgl. ferner die Mittheilungen von Sachs über die Sphaerokrystalle des Inulins, Bot. Zeit. 1864, p. 80.

schwunden und durch Luft ersetzt ist. Der Körper erscheint alsdann wegen der vielen luftführenden Räume schwarz.

Das Verhalten der festen Körper gegen chemische und physikalische Reagentien berechtigt zu der Annahme, dass ihre kleinsten Theile im Allgemeinen polyedrisch sind und eine bestimmte regelmässige oder unregelmässige Anordnung zeigen. Nennen wir diese kleinsten Theile nach der jetzt üblichen Bezeichnungsweise Molecüle, so müssen nach der atomistischen Theorie folgende Verschiedenheiten der Lagerung angenommen werden, um den bekannten Erscheinungen Rechnung zu tragen. 416

1) Die Molecüle liegen auf den drei senkrecht sich kreuzenden Richtungen des Raumes (man mag sich dieselben beliebig orientirt denken) in durchweg gleichen Abständen von einander entfernt und werden auch nach allen drei Richtungen von gleichen Kräften sollicitirt; eine beliebige Drehung einzelner Molecüle um 90° verursacht keine Störung des Gleichgewichts. Der Körper wird alsdann isotrop genannt, weil er im Verhalten gegen die Imponderabilien (Licht, Wärme etc.) keinerlei Verschiedenheiten der Richtung bemerken lässt. — So verhalten sich indess nur die Krystalle des regulären Systems. Die hier möglichen Krystallflächen entsprechen, wie überhaupt bei allen Krystallen, den Ebenen, die man sich durch je 3 Molecüle gelegt denken kann; sie kommen um so leichter zur Ausbildung, je geringer der Abstand der Molecüle in der Ebene.

2) Die Molecüle sind nach verschiedenen Richtungen ungleich weit von einander entfernt und von ungleichen innern Kräften sollicitirt; die Orientirung ist aber durchgehends die nämliche, gleichwerthige Richtungen sind also parallel. Die räumliche Anordnung der Molecüle lässt alsdann noch mancherlei Verschiedenheiten zu, wie sie bei den 5 hieher gehörigen Krystallsystemen vorkommen; sie ist aber stets der Art, dass die Intensität dadurch bedingter Eigenschaften mit der Richtung sich in gleichem Verhältniss ändert, wie der jedesmal parallel gedachte Durchmesser eines entsprechend orientirten Ellipsoids oder Rotationsellipsoids. Das Nähere hierüber wurde bereits bei Erörterung der Polarisationserscheinungen mitgetheilt.

3) Die Molecüle sind ungleich orientirt oder unregelmässig angeordnet, jedoch so, dass, wenn auch nicht die einzelnen Abstände, doch die mittlere Grösse derselben auf jeder beliebigen geraden Linie immer dieselbe ist, eine Verschiedenheit der Richtungen also nicht besteht. Die Körper verhalten sich alsdann wie isotrope; sie bilden aber keine Krystallflächen aus, weil die in einer Ebene liegenden Molecüle nicht übereinstimmend gestellt oder aber ungleichmässig vertheilt sind. — Eine solche Constitution müssen wir im geschmolzenen Zustande selbstverständlich bei allen sonst festen Körpern voraussetzen; bleibt sie auch während des Erstarrens erhalten, so ist der Körper isotrop, aber amorph. So das Glas, trockenes Gummi etc.

4) Die Molecüle gruppiren sich zu kleinen, jedoch mikroskopisch nicht

wahrnehmbaren Krystallen, die wir Micellen*) nennen wollen. Diese treten selbst wieder nach ähnlichen Gesetzen zu grössern Massen zusammen, nur dass hiebei eine etwas grössere Freiheit zur Geltung kommt, indem die Micellen sich bald in ebene, bald in krumme Flächen ordnen. Ueberdiess können die Micellen, ohne ihre Anordnung zu verändern, sich soweit von einander entfernen, dass Molecüle anderer Substanzen, zu denen sie Affinität haben, sich zwischen dieselben einschieben und eine förmliche Hülle um sie bilden.

- 417 Auf der letzterwähnten Gruppierung der Molecüle beruht das Wesen der organisirten Substanz. Das Wasser, womit sich dieselbe anbibirt, dringt nur zwischen die Micellen, nicht in diese letztern ein, und wird beim Verdunsten wieder abgegeben. Findet vollständiges Austrocknen statt, so nähern sich die Micellen bis zur unmittelbaren Berührung, und da nicht anzunehmen ist, dass sie luftführende Räume zwischen sich lassen, weil dadurch die Durchsichtigkeit der Masse gestört würde, so müssen die benachbarten Micellarschichten ziemlich genau auf einander passen oder in einander greifen, wie die Oberflächen eines beliebigen Objectes und seines galvanoplastischen Abgusses. Die Gestalt der Micellen muss daher im Allgemeinen eine polyedrische sein, wie die der Krystalle, und zwar eine regelmässige, wenn sie sich in parallele Ebenen gruppieren, wie bei den Proteinkrystalloiden, eine unregelmässige und mehr oder weniger keilförmige, wenn die Anordnung eine concentrisch-krummflächige ist, wie bei den Stärkekörnern. Die Ausbildung von Krystallflächen lässt sich natürlich nur im ersten Falle, hier aber nach den verschiedensten Krystallsystemen erwarten, wie denn auch bereits rhombische und klinorhombische (rhombodrische?) Formen von organisirten Substanzen bekannt sind. Jede durch drei Micellen gelegte Ebene bezeichnet alsdann eine mögliche Krystallfläche.

Ob die Krystallform der Micellen mit derjenigen ihres Aggregates in einem bestimmten Zusammenhang stehe oder vielleicht gar mit der letztern identisch sei, lässt sich nicht mit Sicherheit bestimmen. Doch ist kaum anzunehmen, dass ein Krystalloid mit rechtwinkligen Axen sich aus Micellen mit schiefwinkligen aufbaue oder umgekehrt; es ist vielmehr am wahrscheinlichsten, dass wirklich Uebereinstimmung zwischen den beiden Krystallformen bestehe. Soviel ist jedenfalls sicher, dass die optischen Eigenschaften der Krystalloide, wie überhaupt eines beliebigen Aggregates von Micellen, nur von der Beschaffenheit dieser letztern, nicht aber von ihrer Anordnung abhängen, so dass also optisch negative Micellen auch ein

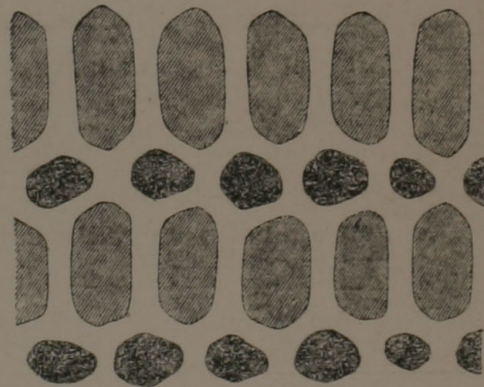
*) Wir haben früher die fraglichen Gruppen kleinster Theilchen als »Molecüle« bezeichnet. Seitdem jedoch dieser Ausdruck in der Chemie eine ganz andere und voraussichtlich bleibende Bedeutung erhalten hat, führt die genannte Bezeichnung nothwendig zu Missverständnissen, deren Beseitigung am besten durch Aenderung des Namens geschieht.

optisch negatives Verhalten des Aggregates und ebenso isotrope Micellen den Isotropismus des Aggregates bedingen. Diese Schlüsse ergeben sich, wie oben (p. 354) gezeigt wurde, aus den bekannten Farbenercheinungen, welche das polarisirte Licht in Membranen und Stärkekörnern in den verschiedenen Stadien der Quellung hervorruft.

Die Grenzen, bis zu welchen die Micellen sich in Folge der Quellung der Substanz von einander entfernen und beim Austrocknen wieder näher rücken, sind durch die hierdurch bedingten Volumveränderungen bestimmt. Bei gallertartigen Membranen, welche beim Austrocknen sich auf $\frac{1}{8}$ ihres Volumens zusammenziehen, müssen sich z. B. die Centren der Micellen durchschnittlich auf $\sqrt[3]{\frac{1}{8}} = \frac{1}{2}$ ihrer ursprünglichen Entfernung nähern. Hätten die Micellen selbst Würfelform, so müssten im aufgequollenen Zustande die Interstitien den Durchmesser eines Würfels erreichen.

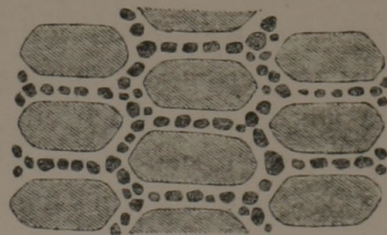
Eine weitere Eigenthümlichkeit der organisirten Substanz besteht — 418 soweit wenigstens die genauer bekannten Beispiele ein Urtheil erlauben — darin, dass sie sich stets als ein Gemenge zweier chemisch verschiedener Substanzen erweist, welche durch Lösungsmittel von einander getrennt werden können. So bestehen z. B. die Stärkekörner, desgleichen die Zellmembranen durchgehends aus zwei oder mehreren Substanzen von ungleicher Löslichkeit, und auch die Proteinkrystalloide lassen einen Theil ihrer Masse durch verdünnte Säuren ausziehen, während ein anderer Theil unter Beibehaltung der Krystallform zurückbleibt. Man kann sich nun die

Micellarconstitution eines solchen Gemenges in verschiedener Weise denken. Entweder bilden die beiden Substanzen Micellen von nicht sehr verschiedener Grösse und Anordnung (Fig. 219); dann ist selbstverständlich jedes beliebige Verhältniss zwischen den beiden Substanzen denkbar. Oder die regelmässige Form und Anordnung beschränkt sich auf die Micellen der einen Substanz,



Figur 219.

indem die der andern unregelmässig in die Interstitien eingelagert sind, etwa wie der Mörtel zwischen die Steine eines Mauerwerkes (Fig. 220). Eine dritte Annahme, dass nämlich die Micellen selbst aus Molecülen beider Substanzen zusammengesetzt seien, ist mit der Krystallnatur der Micellen nicht wohl vereinbar, da eine theilweise Lösung der integrierenden Bestandtheile bei Krystallen nicht möglich ist. Die Krystallnatur der Micellen spricht auch gegen die Voraussetzung, dass die Molecüle verschiedener



Figur 220.

Substanzen Micellen mit gleichen Winkeln bilden. Unter den möglichen Combinationen hat somit die Einlagerung der einen Substanz in die Micellarinterstitien der andern die grösste Wahrscheinlichkeit.

5. Cohäsion und Adhäsion.

419 Die Ausdrücke Cohäsion und Adhäsion bezeichnen in manchen Fällen sehr nah verwandte Begriffe, ja sie sind oft geradezu als synonym zu betrachten. Die Schichten einer organisirten Substanz cohären oder adhären, je nachdem man von dieser oder jener Vorstellung über die Micellarconstitution derselben ausgeht. Nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche würden die ursprünglich getrennten Zellen des Endosperms, welche sich in der Folge zu einem geschlossenen parenchymatischen Gewebe verbinden, durch Adhäsion, die durch Theilung entstandenen Zellen dagegen durch Cohäsion zusammengehalten; beide Gewebe sehen aber vollkommen gleich aus. Wollte man den Ausdruck Cohäsion für den Zusammenhang chemisch gleicher Micellarschichten reserviren, ohne Rücksicht darauf, ob sie ursprünglich getrennt waren oder nicht, so würde in allen Fällen, wo gewisse Schichten der Membran sich chemisch verändern, wie z. B. bei der Umwandlung in Korksubstanz (Cuticula), die Cohäsion in Adhäsion übergehen. Diese Beispiele mögen genügen, um zu zeigen, dass ein strenges Auseinanderhalten der gedachten Ausdrücke nicht möglich ist.

Ob die adhärenenden Flächen zweier Körper bis auf den gewöhnlichen Abstand der Micellen genähert oder durch einen beträchtlich grössern Zwischenraum von einander getrennt sind, ob also die Adhäsion vollkommen oder unvollkommen sei, lässt sich mikroskopisch nicht unterscheiden. Der Primordialschlauch legt sich z. B. so innig an die Zellmembran an, dass eine Scheidelinie zwischen ihm und der innern Membrangrenze nirgends bemerkbar ist. Dessenungeachtet löst er sich an den meisten Stellen leicht von der Membran ab, während er an andern haften bleibt und sich hier unter Umständen in lange Fäden auszieht. Die Adhäsion kann also nur an diesen letztern Stellen vollkommen oder wenigstens möglichst vollkommen sein; an erstern muss zwischen den Micellen der Membran und des Schlauchs ausser dem umhüllenden Imbibitionswasser eine trennende Wasserschicht angenommen werden, welche den gegenseitigen Abstand vergrössert und dadurch die Adhäsion schwächt. Ob diese Wasserschicht selbst wieder an verschiedenen Stellen ungleiche Mächtigkeit erreicht, wie man aus dem ungleichzeitigen Ablösen des Primordialschlauches folgern möchte, lässt sich durch directe Beobachtung ebensowenig entscheiden, weil ja selbst die dicksten Stellen jenseits der Grenze mikroskopischer Wahrnehmbarkeit liegen. Wir ziehen hieraus den allgemeinen Schluss, dass sich die Vollkommenheit oder Unvollkommenheit der Adhäsion mikroskopisch nicht erkennen lässt.

Da die Einlagerung von Wasser zwischen die Micellen einer Substanz den gegenseitigen Abstand derselben vergrössert und die Wassertheilchen unter sich nur mit einer Kraft cohäriren, welche jedenfalls viel geringer ist als bei festen Körpern, so ist einleuchtend, dass die Cohäsion mit der Zunahme des Wassergehaltes abnimmt. Gallertartige Membranen zeigen in Folge dessen nur eine geringe Cohäsion, während z. B. die wasserarmen des Eichenholzes beinahe diejenige des geschmiedeten Kupfers erreichen. *)

6. Quellung und Diosmose.

a) Arten der Quellung.

Die durch Einlagerung von Flüssigkeiten bedingte Volumenzunahme 420 einer organisirten Substanz wird bekanntlich als Quellung bezeichnet. Dieselbe kann mit oder ohne Veränderung der Micellarconstitution erfolgen. Im letztern Falle zieht sich der Körper, wenn ihm das Wasser auf irgend eine Weise (durch Erwärmen, concentrirtes Glycerin etc.) entzogen wird, wieder auf sein früheres Volumen im trockenen Zustande zusammen, wie man diess an Membranen oder Stärkekörnern, welche von Wasser, sehr schwachen Alkalien oder Säuren durchdrungen sind, beim Auswaschen und Trocknen beobachtet. — Da es eine allgemeine Regel ist, dass angesäuertes oder schwach alkalisches Wasser in etwas grösserer Menge eingelagert wird als reines, so verhalten sich in Wasser liegende Substanzen gegen verdünnte Lösungen wie trockene gegen Wasser; sie quellen auf Zusatz von schwachen Säuren oder Alkalien stärker auf und ziehen sich beim Auswaschen mit reinem Wasser wieder zusammen. Bei günstigen Objecten (wie z. B. den Stärkekörnern tropischer Euphorbien) ist diese Erscheinung sogar sehr augenfällig.

Im Gegensatz zu solchen Quellungen stehen diejenigen, welche gewöhnlich stärkere Säuren und Alkalien, sowie Kupferoxydammoniak hervorrufen. Die aufgequollene Substanz verliert nämlich die Fähigkeit, sich nach der Entfernung des Quellungsmittels durch Auswaschen wieder auf ihr früheres Volumen zusammenzuziehen; sie erfährt demnach Veränderungen in der Micellarconstitution, die wahrscheinlich darauf beruhen, dass die Micellen sich in kleinere theilen.

Die Quellungserscheinungen sind bei den Stärkekörnern und Proteinkrystalloiden genauer bekannt. **) Von den Membranen weiss man wenigstens so viel, dass sie eine Reihe von Abstufungen bilden, die sich einer-

*) Die Cohäsionskräfte der Membranen stimmen annähernd mit dem Tragvermögen (innerhalb der Elasticitätsgrenze) überein. Beträgt das letztere z. B. 10 Kilo per Quadratmillimeter, so findet häufig schon bei 12 Kilo Belastung Zerreißen statt. Bei den Metallen dagegen erfordert das sofortige Ueberwinden der Cohäsion eine relativ viel stärkere Belastung (vgl. Schwendener, das mechanische Princip etc. p. 11 u. 15).

**) Nägeli, die Stärkekörner p. 67 u. ff., 144 u. ff.; Sitzungsberichte der k. b. Akad. d. Wiss. in München 1862.

seits an die verschiedenen Stärkearten anschliessen und andererseits im cuticularisirten Zustande weit davon abstehen. Die Cuticula selbst scheint nur in sehr geringem Grade quellungsfähig zu sein.

Die Einlagerung von Lösungen zwischen die Massenbestandtheile organisirter Substanzen ist übrigens stets mit einer Concentrationsveränderung dieser Lösungen verbunden, d. h. die letztern dringen in einem stärker verdünnten oder auch in concentrirterem Zustande in die Substanz ein. Thierische Membranen (Herzbeutel, Harnblase) nehmen z. B. von einer Kochsalzlösung eine Flüssigkeit auf, deren Procentgehalt nur 0,82 bis 0,84 der Lösung beträgt*). Umgekehrt nehmen Stärkekörner in verdünnter Kalilösung eine concentrirtere Flüssigkeit auf; denn setzt man nach und nach mehr Körner zu, so werden die Quellungserscheinungen schwächer und zuletzt unmerklich. Die umspülende Flüssigkeit muss also verdünnter, folglich die eingelagerte concentrirter geworden sein.

b) Absorption von Gasen in quellungsfähigen Körpern.

- 421 Die Verwandtschaft der festen Körper zu den Flüssigkeiten, von denen sie durchdrungen werden, spricht sich auch in den hygroskopischen Eigenschaften derselben aus, d. h. in dem Vermögen, die Dämpfe jener Flüssigkeiten in sich niederzuschlagen. Die Bewegungen, welche durch die Zu- und Abnahme der aufgenommenen Wassermenge verursacht werden, sind bekanntlich bei manchen vegetabilischen und animalischen Gebilden (Schleudern der Equisetensporen, Fruchstiele der Moose etc.) so auffallend, dass man dieselben als Hygroskope gebrauchen kann.

Eine ähnliche Verwandtschaft besteht auch zwischen den festen Körpern und Gasen, und es ist bekannt, dass sich dieselbe bei manchen unorganischen Substanzen, wie z. B. Kohle, Platinschwamm etc., in sehr augenfälligem Grade kundgibt. An organisirten Gebilden wurde eine Verdichtung von Gasen zwar nicht direct beobachtet; allein die Luftblasen, welche während der Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure oder Aetzkallilösung in Stärkekörnern auftreten, machen die Annahme einer solchen sehr wahrscheinlich.

c) Menge und Vertheilung der Imbibitionsflüssigkeit.

- 422 Der Gehalt eines Körpers an Imbibitionsflüssigkeit ergibt sich unmittelbar aus der Volumenzunahme desselben während der Quellung oder der Volumenabnahme während des Austrocknens. Wenn z. B. eine ausgetrocknete Kugel in einer Lösung auf das Doppelte ihres ursprünglichen Durchmessers aufquillt und folglich einen 8mal grössern Raum einnimmt, so werden $\frac{7}{8}$ dieses Raumes von der eingelagerten Flüssigkeit ausgefüllt.

*) Ludwig, Lehrb. d. Physiol. des Menschen p. 61.

Die Vertheilung der Quellungsflüssigkeit im Innern der Substanz richtet sich nothwendig nach der Micellarconstitution. Das Verhältniss der Substanz zur Lösung und dem entsprechend auch die Ausdehnung der Körper während der Quellung, sowie die Contraction beim Austrocknen, ist daher im Allgemeinen in den verschiedenen Richtungen ungleich. Man würde jedoch sehr irren, wenn man aus den beobachteten Dimensionsveränderungen ohne Weiteres die Differenzen im Flüssigkeitsgehalt ableiten wollte, da eine solche Ableitung nur unter Voraussetzungen zulässig ist, welche in der Wirklichkeit selten zutreffen. Ein homogenes parallelepipedisches Membranstück wird allerdings beim Austrocknen an Länge, Breite und Dicke in demselben Verhältniss einbüßen, in welchem die Flüssigkeitstheilchen zwischen die Substanztheilchen eingelagert sind, weil hier der Annäherung der Micellen in jeder beliebigen Richtung keinerlei Hindernisse im Wege stehen. Sobald aber ein solches Membranstück aus abwechselnd dichten und weichen Schichten besteht, wie es gewöhnlich der Fall ist, beschränkt sich die erwähnte Proportionalität auf die radiale Richtung, weil in tangentialer die freie Aeussereung der Molecularkräfte wasserreicher Schichten durch die Adhäsion an dichten gehemmt wird. Sind überdem die Schichten gestreift, d. h. aus alternirenden dichten und weichen Streifen zusammengesetzt, so giebt uns die Dimensionsverminderung in keiner Richtung einen genauen Maassstab für die Wassereinlagerung.

Sind die Micellarschichten concentrisch geordnet, so ruft der Gegensatz zwischen radialer und tangentialer Richtung Spannungen hervor, die sich allmählig bis zur Bildung von Rissen steigern, wie man diess an ausgetrockneten Stärkekörnern, die man wieder in Wasser gelegt hat, sowie auch bei der Quellung derselben in verdünnter Kalilösung wahrnimmt. Die Richtung der Risse, diese mögen nun durch Austrocknen oder durch Quellung entstanden sein, giebt alsdann nicht selten einigen Aufschluss über die Vertheilung der Imbibitionsflüssigkeit. Diese Richtung hängt übrigens selbstverständlich nicht bloss von den Spannungen, sondern auch von den Cohäsionsverhältnissen und unter Umständen wohl auch von den Puncten ab, wo die Risse zuerst auftreten. In den Stärkekörnern scheint z. B. der radiale Verlauf derselben zum Theil dadurch bedingt zu sein, dass die Bildung im Kerne beginnt und nach aussen hin fortschreitet. Ohne diese Voraussetzung wäre es nämlich kaum erklärlich, warum nicht zuweilen zwei dichtere Schichten, die durch eine sehr weiche von einander getrennt sind, sich beim Austrocknen des Kornes von einander ablösen und eine Spalte zwischen sich lassen.

Aus vorstehenden Andeutungen geht soviel hervor, dass die Ermittlung der Wasservertheilung aus den Erscheinungen des Austrocknens bei kugeligen und cylindrischen Gebilden keine so ganz leichte Aufgabe ist. Die an den Stärkekörnern beobachteten Thatsachen*) führten zu dem

*) Nägeli, die Stärkekörner p. 36 u. ff.

Schlusse, dass der Wassergehalt in tangentialer Richtung grösser sei als in radialer, vorausgesetzt, dass die Cohäsion der Substanztheilchen in den beiden Richtungen gleich sei. Rücksichtlich der nähern Begründung dieser Ansicht verweisen wir auf die am angeführten Orte mitgetheilten Erörterungen.

Aehnliche Schwierigkeiten bieten zuweilen auch die Erscheinungen des Aufquellens in Alkalien und Säuren, namentlich dann, wenn sich die verschiedenen Theile des Objects ungleich verhalten. Dass cylindrische Bastzellen (z. B. der Chinarinde), deren peripherische Schichten, im Querschnitt beobachtet, beim Aufquellen in Schwefelsäure bersten, in radialer Richtung mehr Säure einlagern, als in tangentialer, ist Jedermann einleuchtend. Wie sich dagegen ein Querschnitt durch einen Hohlzylinder verhält, dessen innere Schichten sich beim Aufquellen falten oder radial zerreißen, ist schon eine complicirtere Aufgabe. Eine Faltung wird beispielsweise eintreten, wenn die Ausdehnung der ganzen Wand in radialer Richtung stärker ist, als in tangentialer, so dass in Folge dessen das Lumen kleiner wird, und wenn überdiess eine innere dichte Lamelle oder Membran nach aussen an weiche Substanz grenzt, welche der durch die Faltung bedingten Verschiebung ihrer Micellen geringen Widerstand leistet. Diese letztere Bedingung ist wesentlich; denn wäre die Wandung homogen, so müsste bei übrigens gleichen Quellungsverhältnissen ein Zerreißen der peripherischen Schichten, also Bildung von radialen Rissen am Umfange erfolgen. Umgekehrt deuten radiale Risse, welche auf der Innenfläche eines Hohlzylinderquerschnittes auftreten, auf eine vorwiegend tangentiale Ausdehnung der Wandung. — Dasselbe Raisonnement gilt mutatis mutandis auch für Hohlkugeln und kann mit einigen Einschränkungen auch auf Kugeln ausgedehnt werden. Wenn daher in einer Kugel oder Hohlkugel radiale Risse im mittlern Theile auftreten

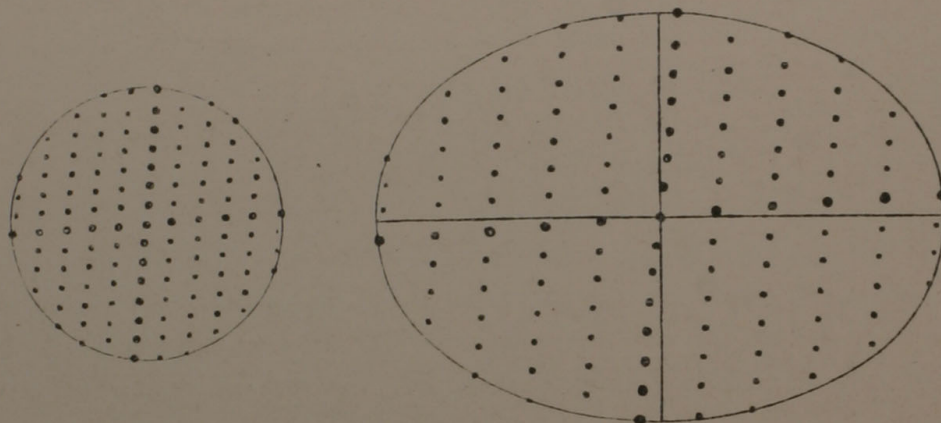


Figur 224.

(Fig. 224), welche sich nach aussen und innen verlieren, so folgt daraus, dass in den äussern Schichten die tangentiale, in den innern die radiale Ausdehnung vorwiegt.

Die Ausdehnung in tangentialer Richtung kann übrigens bei Körpern, welche eine Längsaxe besitzen, in sehr verschiedener Weise stattfinden, da das Quellungsvermögen im Allgemeinen den Leitstrahlen einer Ellipse entspricht, deren Axen bald mit der Quer- und Längsrichtung zusammenfallen, bald schief gegen dieselben gestellt sind. Das letztere ist der Fall, wenn die Micellarreihen der concentrischen Schichten rechts und links gewundene, beliebig geneigte Spiralen bilden, wie es z. B. bei Bast- und Holzzellen häufig vorkommt; das erstere, wenn diese Reihen längs und quer verlaufen und daher stets rechtwinklig gegen einander gestellt sind. Ein kreisförmiges Flächenelement nimmt also unter allen Umständen eine elliptische Form an, wenn das Quellungsvermögen in verschiedenen

Richtungen ungleich ist; aber die Axen der Ellipse sind nur bei rechtwinkligen Micellarreihen diesen letztern parallel, bei schiefwinkligen wird der spitze Winkel vom rechten der Axen eingeschlossen (Fig. 222).



Figur 222.

Aus dem Angeführten ergibt sich ferner, dass ein kugelförmiges Element einer quellungsfähigen Substanz durch ungleichmässige Einlagerung der Quellungsflüssigkeit zum Ellipsoid wird, dessen Axenlage von der Richtung und Ausdehnung der Micellarreihen abhängig ist. Diese Lage für gewisse Voraussetzungen zu bestimmen, ist Sache einer mathematischen Betrachtung, auf die wir hier nicht näher eingehen können. Wir beschränken uns auf die Hervorhebung zweier Fälle, welche speciell beim Aufquellen cylindrischer und hohlcylindrischer Zellen Anwendung finden. Der erste bezieht sich auf eine einzelne Membranschicht, der zweite auf Complexe von concentrischen Schichten.

4) Ein unendlich dünner Hohlcylinder, dessen Micellen nach zwei Richtungen Reihen bilden, welche beliebig gegen die Längsaxe geneigt sind und folglich im Allgemeinen zugleich rechts- und linksläufige Spiralen bilden, ist in seinem Verhalten beim Aufquellen durch das in der Richtung der einen und andern Spirale bekannte Quellungsvermögen noch nicht bestimmt. Er kann sich verkürzen oder verlängern, an Umfang zu- oder abnehmen, je nach dem Einlagerungsverhältniss in einer dritten Richtung, welche die beiden genannten unter beliebigem Winkel schneidet. Man hat es überhaupt, wenn man die Formveränderungen, welche die Quellung bedingt, durch Construction bestimmen will, immer mit den drei Seiten eines Dreiecks zu thun, welche den gegenseitigen Abständen dreier Micellen, z. B. der unmittelbar neben einander liegenden, entsprechen. Die Construction ist nur ausführbar, wenn das Verhältniss der Seitenlängen vor und nach der Quellung bekannt ist oder sich aus bekannten Daten ableiten lässt.

2) Denkt man sich mehrere solcher Hohlcylinder in einander geschachtelt, so ist an und für sich klar, dass mit dem Umfang auch die

Abstände derselben in radialer Richtung sich proportional vergrössern müssen. Wenn daher bei einer cylindrischen Zelle das Quellungsvermögen der Membran in radialer Richtung grösser oder kleiner ist als in der Richtung des Umfanges, so treten Spannungen ein, welche das Verhalten der einzelnen concentrischen Schichten modificiren. Ein Vorherrschen der Dickenzunahme bewirkt z. B. bei Bastzellen eine sehr starke Verkürzung der peripherischen Schichten, wobei die durch die Streifung angedeutete steilere Spirale der Micellarreihen niedergedrückt wird.

- 425 In der Praxis lassen sich die unter 4) erwähnten Beziehungen in folgender Weise ermitteln. Der Quellungscoefficient der spiralig verlaufenden Micellarreihen ergibt sich, insofern dieselben durch die Streifung der Membran deutlich bezeichnet sind, aus der Längenzunahme des Hohlzylinders und aus dem Neigungswinkel der Streifen vor und nach der Quellung. Ist die Länge des Cylinders im nicht gequollenen Zustande L , im gequollenen L' , und sind die entsprechenden Neigungen eines bestimmten Streifensystems zur Längsaxe α und α' , so ist die Länge der damit parallelen Micellarreihen vor der Quellung durch $\frac{1}{\cos \alpha} L$ und nach der Quellung durch $\frac{1}{\cos \alpha'} L'$ gegeben.

Ist die Neigung der Micellarreihen bloss im gequollenen Zustande für die beiden sich kreuzenden Spiralsysteme, im nicht gequollenen dagegen bloss für das eine derselben durch Streifung angedeutet, oder umgekehrt, so kann dessenungeachtet auch die Neigung der im einen oder andern Zustand unsichtbaren Streifungen und damit auch das Quellungsvermögen der entsprechenden Micellarreihen durch Rechnung bestimmt werden. Bezeichnet man nämlich mit C den Umfang des Hohlzylinders im nicht gequollenen Zustande, mit L dessen Länge und mit α und β die Neigungen der beiden Streifensysteme zur Längsaxe; ferner mit C' , L' , α' und β' die entsprechenden Grössen im aufgequollenen Zustande, so hat man die Relation:

$$C : C' = L (\tan \alpha + \tan \beta) : L' (\tan \alpha' + \tan \beta'),$$

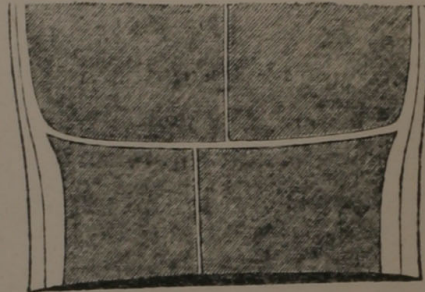
nach welcher sowohl α oder β , als überhaupt jede beliebige der 8 Grössen bestimmt werden kann, wenn die 7 andern bekannt sind.

d) Quellung in Folge mechanischer Eingriffe.

- 426 Mit den Quellungserscheinungen lassen sich gewissermaassen auch die Verschiebungen der Micellen vergleichen, welche die Verletzung der Membranen, resp. der Zellen, verursacht. Durchschnittene Zellen von Schizomeris ziehen sich z. B. in Folge der Verletzung etwas zusammen und verdicken dabei in sehr augenfälligem Grade ihre Wandung (Fig. 223).*)

*) Vgl. Nägeli, Pflanzenphysiol. Unters. I, p. 32.

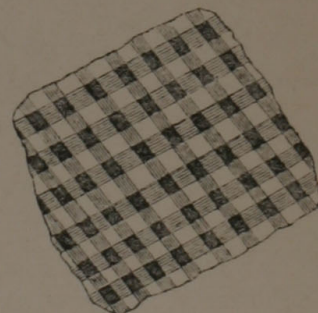
Man könnte versucht sein, diese Erscheinung einer rein mechanischen Ursache, nämlich dem Aufhören des hydrostatischen Druckes der Zellflüssigkeit auf die Wandungen zuzuschreiben; zumal die Thatsache, dass auf Zusatz von Glycerin, Zuckerlösung etc., wodurch dieser Druck aufgehoben oder umgekehrt wird, die nämliche Verdickung der Membranen erfolgt, ganz entschieden darauf hinzudeutenscheint. Andere Gründe machen es aber wahrscheinlicher, dass die Molecularkräfte selbst durch die Verletzung eine Veränderung erfahren, in Folge welcher die Micellen sich etwas verschieben und der Wassergehalt der Membranen in radialer Richtung beträchtlich zunimmt. Zu Gunsten dieser Auffassung spricht namentlich auch das Verhalten durchschnittener Stärkekörner, deren Substanz bis zu einer gewissen Entfernung von der Schnittfläche deutlich aufgequollen erscheint.



Figur 223.

e) Schichtung und Streifung.

Die Schichtung und Streifung der Membranen, sowie 427 überhaupt der organisirten Substanz, kann natürlich nur eine Folge abwechselnd stärkern und geringern Wassergehaltes sein. Wir haben bereits oben darauf hingewiesen, dass die Micellen in wasserreichen Parteen kleiner sein müssen als in dichtern, weil bei gleicher Dicke der Wasserhülle nur dadurch der grössere Wassergehalt erklärlich wird. Hier wollen wir nur noch bemerken, dass die Streifung der Membran nach zwei verschiedenen Richtungen sich bei vielen Zellen direct nachweisen lässt und daher wahrscheinlich auch bei den übrigen vorhanden ist. Die Kreuzungsstellen der beiden dichten Streifensysteme bilden stets, wie man in günstigen Fällen deutlich sieht, die dichtesten Parteen der Membran. Letztere wird demnach durch die Grenzlinien der Streifen in Parallelegramme (räumlich gedacht in Parallelepipede) von vierfach verschiedener Dichtigkeit zerlegt, wie diess in nebenstehender Fig. 224 angedeutet ist. — Die Vermehrung der Streifen während des Wachstums geschieht in gleicher Weise, wie die der Schichten, durch Spaltung der dichtern (nicht der weichern) in zwei Lamellen, also durch Bildung wasserreicherer Substanz in den dichten Parallelepipeden.



Figur 224.

f) Diosmose.

428 Da die Flüssigkeit, welche den wässerigen Zellinhalt bildet, verschiedene Substanzen in Lösung enthält, so ruft das Eintauchen der Zellen in Wasser oder in andere Lösungen sogleich diosmotische Strömungen hervor, welche die Verschiedenheiten der Flüssigkeiten auszugleichen streben. Hierbei werden die entgegengesetzten Strömungen im Allgemeinen ungleich sein, so dass mit Rücksicht auf die Zelle bald die Endosmose, bald die Exosmose vorwiegt, die Menge der Zellflüssigkeit also bald vermehrt und bald vermindert wird. Eine Vermehrung findet beispielsweise statt, wenn die Zelle in reines Wasser, eine Verminderung, wenn sie in Zuckerlösung, Glycerin, Alkohol, Säuren, Alkalien, überhaupt in wasserentziehende Medien gebracht wird.

429 Die physikalische Ursache dieser Ungleichheit entgegengesetzter diosmotischer Ströme liegt bekanntlich in der ungleichen Verwandtschaft der Membranen zu den im Austausch begriffenen Substanzen. Die nächste Folge davon ist, dass die während der Quellung eindringende Imbibitionsflüssigkeit eine andere Zusammensetzung annimmt, als die umspülende Lösung, woraus sie geschöpft wurde, oder als die beiden heterogenen Flüssigkeiten, welche durch die Membranen diffundiren. Befindet sich z. B. auf der einen Seite einer organisirten Membran eine concentrirte Lösung von Kochsalz, auf der andern reines Wasser, so umgiebt sich jedes Micell mit einer Flüssigkeitshülle, die zunächst seiner Oberfläche nur aus Wasser besteht, da hier die vorwiegende Anziehung zwischen diesem und der Substanz die Einlagerung von Salztheilchen nicht gestattet. Diese Einlagerung beginnt erst in einiger Entfernung von der Oberfläche und nimmt sodann bis gegen die Grenzflächen der sich berührenden Flüssigkeitshüllen, wo der Salzgehalt sein Maximum erreicht, quantitativ zu. Die Micellarinterstitien, welche der Salzlösung am nächsten liegen, führen also in ihren mittlern Theilen die nahezu unveränderte Lösung, in der Nähe der Wandungen dagegen reines Wasser; nach der andern Seite hin nimmt natürlich der Salzgehalt allmählig ab. Diese mittlern Theile verhalten sich hienach in ihrer Gesamtheit wie ein System von Röhren, welche auf der einen Seite in Wasser, auf der andern in die nämliche Salzlösung münden würden; sie befördern daher ebensoviel Salz nach der einen als Wasser nach der andern Seite hinüber. Die salzarme Wandschicht erfährt dagegen bloss eine einseitige oder doch einseitig vorwiegende Anziehung nach der Salzlösung hin; sie wird daher in continuirlicher Strömung dieser Lösung zufließen und sich immer wieder aus dem anstossenden Wasservorrathe ergänzen.

Zu der Wassermenge, welche durch den mittlern Theil der Micellarinterstitien strömt und welche der nach der entgegengesetzten Seite

wandernden Salzmenge gleich ist, kommt also noch eine zweite durch die einseitige peripherische Strömung hinzu, so dass im Ganzen nothwendig mehr Wasser nach der einen, als Salz nach der andern Seite hin befördert wird.

Es lässt sich auch voraussehen, dass das Verhältniss der beiden Ströme zu einander sowohl von der Natur der Membran als auch von der Concentration der Lösung und der Natur des gelösten Stoffes abhängig sein muss; dass es z. B. für Kali ein anderes sein wird als für Kochsalz, und für Colloidumhäutchen ein anderes als für vegetabilische Zellmembranen. Denn mit der Natur der Körper wechseln selbstverständlich auch die wechselseitigen Anziehungen, welche hier die treibenden und die Widerstand leistenden Kräfte sind, und mit der Concentration der Salzlösung ändert sich auch die Strömungsgeschwindigkeit für Wasser und Salz. Ebenso ist ersichtlich, dass der salzlose Theil der Flüssigkeitshüllen um so mehr ins Gewicht fallen muss, je kleiner die Interstitien, weil überhaupt in engen Räumen verhältnissmässig mehr Theile der Wand näher liegen als in weiten. Das endosmotische Aequivalent wird also unter übrigens gleichen Umständen in Membranen mit gröblichen Räumen (Pergamentpapier, Harnblase etc.) stets kleiner ausfallen als in solchen von homogener Beschaffenheit, und in diesen letztern um so kleiner, je dichter (wasserärmer) die Substanz.*)

Es wäre ein Leichtes, diese theoretischen Betrachtungen auf Grundlage der atomistischen Anschauung noch weiter auszuführen und zugleich darzulegen, dass die auf diesem Wege gewonnenen Schlüsse mit den bis jetzt durch Versuche erzielten Resultaten übereinstimmen. Für unsere Zwecke mag indess das Vorstehende genügen. Es sollte vor Allem gezeigt werden, dass die Brücke'sche Theorie der Diffusionserscheinungen sich nicht bloss auf gröbliche Räume, wie sie in den thierischen Bindegeweben (Herzbeutel, Harnblase) vorkommen, sondern auch auf die Micellarinterstitien der Membranen anwenden lässt. Das Uebrige findet man in den Lehrbüchern der Physik und der Physiologie, auf welche wir hiemit verweisen, mit genügender Ausführlichkeit dargelegt.**)

Um die Wirkungen zu verstehen, welche die durch Diosmose bedingte 430 Zu- oder Abnahme des Inhaltes in den Zellen hervorruft, ist es nöthig sich zu vergegenwärtigen, dass die umhüllenden Häute derselben, der Primordialschlauch und die Zellmembran, sich wesentlich ungleich verhalten. Der Primordialschlauch leistet dem Druck, welcher von innen oder aussen auf ihn wirkt, nur einen äusserst geringen Widerstand; wäre er isolirt,

*) Mit der Abnahme des Wassergehaltes werden die Micellen grösser und mit der Grössenzunahme der Micellen werden die Abstände ihrer Oberflächen kleiner, die Wasserhüllen also dünner. Siehe Nägeli, Stärkekörner, p. 333, 345 ff.

**) Man vergleiche namentlich Ludwig, Lehrb. d. Physiol. des Menschen, 1. u. 2. Abschnitt; Fick, Medicinische Physik 1. Aufl. p. 40 ff., sowie die dort angeführten Originalarbeiten.

so müsste er sich bei andauernder Diosmose vermöge seiner ausserordentlichen Dehnbarkeit beinahe unbegrenzt ausdehnen oder zusammenziehen. Diess geschieht in Wirklichkeit, z. B. bei Schwärmsporen, bloss desshalb nicht, weil der Diosmose durch den Filtrationswiderstand des lebenden Primordialschlauches ein Ziel gesetzt ist.

Die Membran dagegen ist in der Regel relativ starr; sie wird durch Vermehrung des Zellinhaltes gespannt, ohne sich merklich auszudehnen, und platzt, wenn der hydrostatische Druck zu stark wird. Ebenso widersteht sie einem von aussen wirkenden Drucke ohne merkliche Formveränderungen; selbst dünne Membranen contrahiren sich nicht *), sondern werden nur eingeknickt, wie eine Blechbüchse, aus welcher man die Luft auspumpt. Aus diesem Gegensatze erklärt sich das Ablösen des Schlauches von der Membran bei vorwiegender Exosmose und das Freiwerden desselben nach dem Zerreißen der Membran bei vorwiegender Endosmose. Der letztere Vorgang ist indess noch an die weitere Bedingung geknüpft, dass der Schlauch sich leicht von der Membran abhebe; wo diess nicht der Fall, findet an der gerissenen Stelle der Membran auch ein Platzen des Schlauches statt.

Eine membranlose Zelle (Schwärmspore u. dgl.) vergrössert sich in Folge der Endosmose so lange, bis der Widerstand des Primordialschlauches (und der sich bildenden Zellmembran) der endosmotischen Kraft das Gleichgewicht hält. Von diesem Zeitpunkte an erfolgt der Austausch der Flüssigkeiten ohne Volumenzunahme, d. h. die beiden entgegengesetzten Ströme sind gleich stark.

Lebende und todte Zellen verhalten sich diosmotisch nicht gleich. Der lebende Plasmaschlauch ist bekanntlich für gelöste Farbstoffe (Erythrophyll, Anthocyan) undurchdringbar, er hält dieselben in den Zellen zurück, in welchen sie sich bilden; der todte dagegen lässt sie ungehindert austreten. Eine bestimmte Ursache für diese Erscheinung lässt sich nicht angeben. Nur im Allgemeinen ist es gewiss, dass beim Absterben des Primordialschlauches Veränderungen in den wirksamen Molecularkräften eintreten, wie diess mit einiger Wahrscheinlichkeit auch für die absterbende Membran anzunehmen ist.

III.

Licht.

1. Spectralanalytische Untersuchungen.

431 Die Spectralanalyse hat in neuester Zeit auch für die Untersuchung mikroskopischer Objecte eine so entschiedene Bedeutung erlangt, dass eine

*) Eine schwache Contraction muss natürlich immer angenommen werden; sie ist jedoch bei den meisten mikroskopischen Objecten kaum messbar und darf daher bei Betrachtungen, wie die obige, geradezu vernachlässigt werden.

kurze Besprechung der hierauf bezüglichen Operationen auch in einem Lehrbuche nicht fehlen darf. Wir beschränken uns hiebei auf das zu einer vorläufigen Orientirung Nothwendige; wer sich selbstforschend mit spectralanalytischen Untersuchungen beschäftigen will, wird ohnehin die einschlägige Specialliteratur nicht entbehren können.

Die oben (pag. 39) erwähnten Mikrospectralapparate sind hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit den grössern Apparaten, wie sie der Physiker anwendet, nicht bloss ebenbürtig, sondern sogar in mancher Hinsicht überlegen. Sie empfehlen sich namentlich zur Beobachtung der Absorptionserscheinungen von Flüssigkeiten und lebenden Objecten, weil die ausserordentliche Lichtstärke des kleinen Spectrums auch bei wenig durchsichtigen Medien noch scharf zu sehen gestattet, während hier in gewöhnlichen Apparaten die feinem Bänder nicht mehr deutlich hervortreten. Ueberdiess ist es für den Mikroskopiker gewiss sehr schätzenswerth, sein gewohntes Instrument durch einfachen Ocularwechsel in ein Spectroskop umwandeln zu können, und so der Manipulationen mit einem grossen und nicht gerade handlichen Apparat überhoben zu sein.

Die Möglichkeit, einen lichtabsorbirenden Stoff im unveränderten Zustande, d. h. im lebensfrischen Gewebe, untersuchen zu können, ist für den Physiologen unzweifelhaft von hoher Bedeutung. Denn einerseits will es in manchen Fällen nicht gelingen, die zu prüfenden Stoffe aus dem lebenden Körper zu entfernen, ohne dieselben in ihren Eigenschaften erheblich zu modificiren. Andererseits kann gerade die Frage, ob eine solche Veränderung durch die Hinwegnahme aus dem lebenden Verbande stattfinde, ob z. B. Chlorophyll in Lösung wesentlich anders beschaffen sei als das im Blatte u. dgl. in zahlreichen Fällen nur durch den Mikrospectralapparat entschieden werden.

Ueber das Verfahren, das man bei spectralanalytischen Untersuchungen 432 zu beobachten hat, lassen wir einen sachverständigen Beobachter sprechen, welcher die genannten Apparate gründlich zu prüfen Gelegenheit hatte. *) Derselbe sagt (l. c. p. 42): »Will man den Apparat für mikroskopische Gegenstände benutzen, so entfernt man vor Allem das über der obern Ocularlinse befindliche zerlegende Prisma, das stets abnehmbar ist, und stellt die Gegenstände wie gewöhnlich ein. Man öffnet zu diesem Behufe den Spalt soweit als möglich; Gewebe oder ganze Organe (Blätter) beobachtet man mit schwachem Objectiv (Hartnack Nr. 4) und die Einstellung hat dann keine Schwierigkeit. Einzelne Zellen, Gonidien von Flechten, einzellige Algen oder Theile vom Zellinhalt, wie Chlorophyllkörner, Farbstoffkrystalle, -Kugeln u. s. w. werden bei starken Vergrösserungen — selbst Immersion ist anwendbar — eingestellt und zwar so, dass sie möglichst im Centrum des Gesichtsfeldes liegen, da sie auf diese Weise allein beim

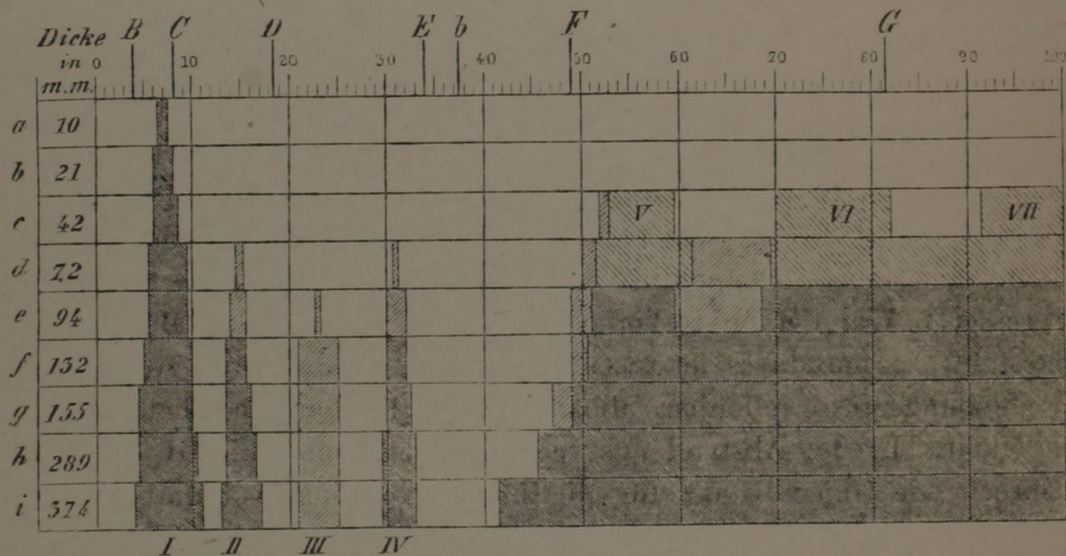
*) G. Kraus, Zur Kenntniss der Chlorophyllfarbstoffe, Stuttgart 1872.

Verengern des Spaltes, wie beim Verkürzen desselben stets sichtbar bleiben. Es ist nach meinen Erfahrungen besser, den Gegenstand nicht scharf einzustellen, sondern etwas tiefer liegen zu lassen. Setzt man dann bei möglichst verengtem Spalte das Prisma auf, so erhält man (wofern der Spalt nicht so verkürzt ist, dass bloss der zu beobachtende Gegenstand in demselben erscheint) über und unter der Stelle, wo der Gegenstand liegt, das normale Tages- oder Lampenlichtspectrum; an Stelle des Objectes gehen zwei parallele Linien, die Grenzen des Gegenstandes bezeichnend, der Länge nach durch das ganze Spectrum und zeigen zwischen sich, wofern der Gegenstand absorbirt, die Absorptionen desselben. Freilich erscheint das Spectrum des Körpers nur dann rein und frei von Linien, die den Grenzlinien parallel laufen, wenn der Gegenstand nahezu homogen erscheint, wie beispielsweise ein Oeltropfen, oder ein nicht genau eingestelltes Stärkekorn, die im Spectrum beobachtet stets nur die zwei Grenzlinien ihres Körpers durch das Spectrum laufend zeigen, während dazwischen weder Absorption noch sonst eine Differenzirung des Spectrums vorhanden ist. Bei Körpern dagegen, die im Innern verschieden lichtbrechende Differenzirungen zeigen, wie Protoplasmagebilde, wird das Spectrum des Gegenstandes häufig sehr getrübt durch das Auftreten heller und dunkler Linien, die den Stellen stärkerer und schwächerer Lichtbrechung entsprechen, und die es vielleicht verhindern, ganz scharfe Absorptionsbilder zu erhalten. Stellt man sich z. B. einzelne Chlorophyllkörner aus den Blättern von *Vallisneria*, *Clivia*, *Agapanthus*, oder von Moosen in der angegebenen Weise ein — ich fand es sehr zweckmässig, sie in Glycerin zu legen — so erhält man bei gewöhnlichem Tages-, noch besser bei Sonnenlicht, zwischen zwei die Grenze bildenden Linien eine sehr deutliche Absorption des Roth zwischen (den Fraunhofer'schen Linien) *B* und *C*, und eine Hinwegnahme von Blau und Violett. Von den übrigen Streifen sieht man Nichts, sei es, was wahrscheinlich, dass die Menge des Farbstoffs in einem Einzelkorn zu gering ist, sei es, dass der Mangel an Homogenität der Substanz das Gewahrwerden der feinen Verdüsterungen im Orange, Gelb und Grün verhindert. Selbstverständlich gehört zur Beobachtung der Absorption so kleiner Körper eine ziemliche Uebung; aber selbst der Ungeübte dürfte das Vorhandensein einer Absorption beim einzelnen Chlorophyllkorn dann leicht sehen, wenn er gleichzeitig einen nicht absorbirenden Körper, etwa ein Stärkekorn in dem Spalt mit einstellt und mit beobachtet.«

433 Behufs genauer Bestimmung der Lage, welche die Absorptionsbänder im Spectrum einnehmen, ist ein Messapparat, wie ihn das *Sorby-Browning'sche Mikrospectralocular* besitzt, geradezu unentbehrlich. Das Vergleichsprisma allein gestattet wohl eine approximative Schätzung, aber keine genaue Messung; überdiess ist das directe Ablesen der Abstände ungleich viel bequemer und sicherer, als die mühsame Vergleichung mit

Didym- oder Metallspectren. Ist der Werth der Theilstriche im Verhältniss zum Spectrum einmal bestimmt, d. h. hat man durch Versuche ermittelt, welche Drehungswinkel den Fraunhofer'schen Linien *B*, *C*, *D* etc. entsprechen, so kann die Lagebestimmung der Absorptionsbänder mit der grössten Leichtigkeit ausgeführt werden. Man hat nur nöthig, das Lichtkreuz auf den zu bestimmenden Punkt einzustellen und hierauf den Stand des Zeigers an der Trommel abzulesen.

Als Beispiel ist in Fig. 225 das Absorptionsspectrum einer alkoholischen 434 Chlorophylllösung dargestellt. *) Das ganze Spectrum ist in 100 Theile eingetheilt, mit welchen die Theilungen der Mikrometertrommel am Spectralapparat in bestimmter Beziehung stehen, so dass beim Einstellen des Lichtkreuzes auf einen bestimmten Absorptionsstreifen die Lage desselben auf der Scala in der eben bezeichneten Weise direct bestimmt werden konnte. Die oberste Querzone *a* der Figur giebt das Absorptionbild einer 10^{mm}



Figur 225.

dieken Schicht der Lösung; es folgen dann der Reihe nach die Bilder *b* *i*, welche Schichten derselben Lösung bei 21, 42, 72 374^{mm} Dicke hervorrufen. Wie man sieht, erscheint hierbei zuerst das Absorptionsband I in der Nähe der Fraunhofer'schen Linie *C*, dann die Bänder V, VI und VII in der brechbareren Hälfte des Spectrums, etwas später und nahezu gleichzeitig die Bänder II und IV, zuletzt endlich Band III. Das Absorptionbild der untersten Querzone ist zugleich das am häufigsten beobachtete Chlorophyllspectrum, das sich namentlich durch das Zusammenfliessen der Bänder V bis VII auszeichnet.

Um Flüssigkeitsschichten von so bedeutender Mächtigkeit, wie oben angegeben, mittelst das Mikrospectralapparates beobachten zu können,

*) Nach Pringsheim, Monatsber. der k. Akad. d. Wiss. zu Berlin. October 1874.

wendet man am besten das Pringsheim'sche Verfahren an. Man bringt die zu untersuchende Flüssigkeit in cylindrische, unten ohne Nabel zugeschmolzene Glasröhren von passender Weite, schiebt dieselben nach Wegnahme des Objectivs in die Mikroskopröhre und lässt sie mit ihrem untern Ende der Oeffnung des Objecttisches unmittelbar aufliegen. Diese Methode der Untersuchung empfiehlt sich namentlich bei Lösungen, welche eine entsprechende Steigerung der Concentration nicht gestatten.

2. Bestimmung des Brechungscoefficienten.

435 Nachdem die Erscheinungen der Lichtbrechung in mikroskopischen Objecten bereits in der Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung besprochen worden, bleibt uns hier noch die practische Verwerthung derselben zur Bestimmung der Brechungscoefficienten zu erwähnen übrig. Den Polarisationserscheinungen wurde ihrer hervorragenden Wichtigkeit wegen ein besonderer Abschnitt gewidmet.

Schon Brewster benutzte das Mikroskop zur Bestimmung des Brechungscoefficienten kleiner Flüssigkeitsmengen, indem er die ringförmige, oberseits vorstehende Fassung einer gleichseitigen biconvexen Linse, welche als Objectiv diente, mit der betreffenden Flüssigkeit füllte und dann ein gewöhnliches Deckgläschen darüber legte. Dadurch wurde die Linse in eine planconvexe Doppellinse umgewandelt, folglich ihre Brennweite vergrößert. War das Mikroskop vorher auf ein beliebiges Object scharf eingestellt, so musste es jetzt etwas gehoben werden, und zwar ist die Verschiebungsgrösse offenbar abhängig vom Brechungscoefficienten der Flüssigkeit. Ist der Abstand des reellen Bildes vom Objectiv P und die entsprechende Objectdistanz für die biconvexe Linse vor und nach der Verbindung mit der zu untersuchenden Flüssigkeit beziehlich p und $p + d$; bezeichnet man ferner den Brechungscoefficienten der Linse mit n , den der Flüssigkeit mit n^* und den gemeinsamen Krümmungsradius mit r , so ist die Brennweite der Doppellinse gegeben durch $\frac{2(n-1)}{r} - \frac{n^*-1}{r}$. Es bestehen somit nach Früherem die Gleichungen:

$$\frac{1}{p} = \frac{2(n-1)}{r} - \frac{1}{P}$$

$$\frac{1}{p+d} = \frac{2(n-1)}{r} - \frac{n^*-1}{r} - \frac{1}{P} = \frac{1}{p} - \frac{n^*-1}{r}$$

Hieraus erhält man durch eine leicht zu übersehende Umsetzung:

$$n^* = 1 + \frac{rd}{p(p+d)}$$

Diese Formel ist jedoch nur unter der Voraussetzung richtig, dass die Dicke der Linsen gegen die Objectabstände vernachlässigt werden darf. Ihre Anwendung ist überdiess mit dem Nachtheil verbunden, dass die Bestimmung des Krümmungsradius bei kleinen Linsen eine schwierige Auf-

gabe ist. Die genaueste Lösung wird immer noch dadurch erzielt, dass man die Linse etwas geneigt auf den Objectträger bringt und das von derselben erzeugte Spiegelbild eines Gegenstandes von bekannter Grösse und Entfernung mikrometrisch misst.

Moser und ebenso Bertin gaben der zu untersuchenden Substanz 436 die Form einer Lamelle mit parallelen Endflächen und bestimmten sodann die Tubusverschiebung, welche nothwendig ist, um ein Object vor und nach der Bedeckung mit einer solchen Lamelle deutlich zu sehen. Man sieht leicht ein, dass die Beziehung der Verschiebungsgrösse x zum Brechungscoefficienten n der Substanz durch die nämliche Formel gegeben ist, welche früher (pag. 58) für die Wirkung der Deckgläschen aufgestellt wurde, nämlich:

$$x = D \left(1 - \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} \right)$$

wobei α und α' die Einfalls- und Brechungswinkel der vom Objecte ausgehenden Strahlen bezeichnen. Vergleicht man mit dieser Formel, die strenge richtig ist, die Moser'sche

$$x = D \left(1 - \frac{1}{n} \right),$$

so ist klar, dass diese letztere nur so lange annähernd richtig sein kann, als die Tangenten der Einfalls- und Brechungswinkel sich nahezu wie die Sinus, d. h. wie $1 : n$ verhalten, was bekanntlich nur bei sehr kleinen Winkeln der Fall ist. Die Moser'sche Formel ist daher nur für Objective mit sehr kleinen Oeffnungswinkeln brauchbar.*)

Bertin verfuhr nach einem andern Princip. Er bestimmte bei feststehendem Objectiv und ausziehbarem Ocular die Vergrösserungen G, γ, g eines Objectivmikrometers oder sonst eines geeigneten Objectes von bekannter Grösse, wenn dieses auf dem Tisch des Mikroskops nacheinander auf die zu untersuchende Lamelle, dann unter dieselbe gelegt und endlich nach Wegnahme der Lamelle beobachtet wird. Der Brechungscoefficient soll alsdann durch die Relation gegeben sein:

$$n = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{G - g}{G - \gamma}.$$

Die Richtigkeit dieser Formel ist indess ebenfalls, wie aus der Ableitung zu ersehen ist, an die Bedingung geknüpft, dass $\frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = \frac{1}{n}$ (s. die Ableitung derselben Ann. de Chim. et Phys. 3^{ième} Serie 1849 T. XXVI. p. 288).

Bei sehr dicken Lamellen empfiehlt Bertin die Vergleichung mit andern, deren Brechungscoefficient n' bekannt ist, wobei folgende Formel in

*) Setzt man z. B. α in obiger Formel $= 48^\circ$, $n = 1,5$ und berechnet nun für die gewöhnliche Dicke eines Deckgläschens die Hebungsrösse x , so erhält man durch Substitution der letztern in die zweite Formel $n = 1,54$, also um 0,04 zu viel.

Anwendung kommt, in welcher e und e' die Dicke der beiden Lamellen bedeutet:

$$\frac{e \left(1 - \frac{1}{n}\right)}{e' \left(1 - \frac{1}{n'}\right)} = \frac{\frac{1}{g} - \frac{1}{\gamma}}{\frac{1}{g'} - \frac{1}{\gamma'}}.$$

Die mitgetheilten Controlmessungen dürfen im Ganzen befriedigend genannt werden, da die erhaltenen Werthe höchstens um 0,02 von den wirklichen abweichen und oft genau übereinstimmen. Die angewandten Vergrößerungen betragen beispielsweise:

G	γ	g
106,7	28,6	21,1
330,0	65,0	46,0

- 437 Zu diesen eben besprochenen Methoden fügt Harting eine dritte, welche zwar nur für Flüssigkeiten passt, aber sehr genaue Resultate liefern soll. Sie stützt sich auf die früher besprochene Eigenschaft der Luftblasen, von Gegenständen, welche in den einfallenden Lichtkegel eingetaucht sind, virtuelle Bilder zu entwerfen, deren Lage und Grösse vom Brechungsvermögen des umgebenden Mediums abhängt. Die Lage ist für grössere Entfernungen des Gegenstandes, wie man leicht einsieht, durch die Brennweite f bestimmt, da das Bildchen sehr annähernd in die Focalebene fällt; die Grösse lässt sich aus der bekannten des Gegenstandes und dem gegebenen Verhältniss der Vereinigungsweiten leicht berechnen. Nach Früherem (pag. 197) ist die Brennweite der Luftblase $f = -\frac{r}{(2n-1)}$, wobei r den Radius und n den Brechungscoefficienten der Flüssigkeit bezeichnet. Hieraus ergibt sich:

$$n = \frac{2f - r}{2f},$$

oder wenn das Grössenverhältniss zwischen Object und Bild durch $\frac{M}{m}$ und der Objectabstand durch p ausgedrückt wird:

$$n = 1 + \frac{M}{m} \cdot \frac{r}{2p} \quad (\text{vgl. pag. 204}).$$

Hiebei darf aber nicht vergessen werden, dass diese Formeln nur für Centralstrahlen gelten und folglich in der Praxis nicht unmittelbar anwendbar sind, weil das Mikroskop sogar Randstrahlen von 30° Neigung und darüber zum Auge leitet. Es wurde schon oben gezeigt, dass hiedurch die Brennweite einer Luftblase in Wasser ungefähr um 0,2 des Radius verkürzt wird. Dazu kommt noch (insofern man die Brennweite durch successive Einstellung auf die Mitte der Luftblase und auf deren Bildchen bestimmt) eine weitere Verkürzung, welche vom Uebergang des Lichtes aus Wasser in Luft herrührt und welche nur dadurch beseitigt werden kann, dass man den Raum zwischen Objectiv und Deckgläschen ebenfalls mit Wasser oder mit der zu untersuchenden Flüssigkeit ausfüllt (vgl. pag. 246 u. f.).

Eine analoge Wirkung ist zu berücksichtigen, wenn man das Grössenverhältniss zwischen Object und Bild durch Beobachtung bestimmt. Die Strahlen, welche von den Randpunkten des Objects ausgehen, werden beim Uebergang in die Beobachtungsflüssigkeit (die als Träger dienende Glasplatte kann vernachlässigt werden) so gebrochen, dass sie rückwärts verlängert zwischen jene Randpunkte fallen. Das Object erscheint also, von der Luftblase aus gesehen, kleiner als es wirklich ist, und das von ihr entworfene Bildchen entspricht diesem verkleinerten, nicht dem wirklichen Object. Auch dieser Uebelstand kann nur gehoben werden, indem man den Raum zwischen Object und Glasplatte mit der nämlichen Flüssigkeit ausfüllt, was natürlich schon grössere Quantitäten der letztern voraussetzen würde.

Harting erwähnt nun auffallender Weise von all' diesen Fehlerquellen kein Wort. Er misst einfach den Objectabstand a , den er der einfachen Rechnung wegen zu 100^{mm} festsetzt, dann den Durchmesser des Objectes b , sowie den der Luftblase d und des Bildchens c . Hieraus bestimmt er den Brechungscoefficienten n nach folgender von seinem Collegen van Rees entwickelten Formel:

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{(b-c)d}{4ac}},$$

oder, da c im Verhältniss zu b als unendlich klein gelten kann:

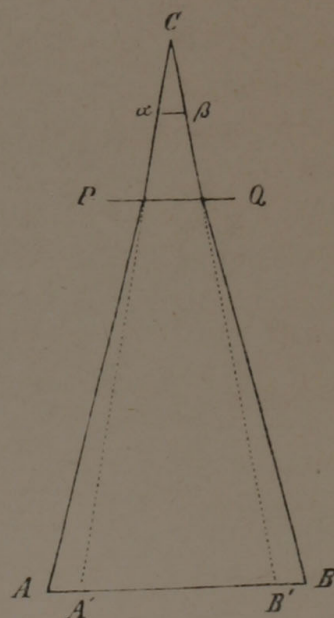
$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{bd}{4ac}}.$$

Harting giebt über die Voraussetzungen, unter welchen van Rees diese Formel erhielt, keinerlei Andeutungen; wir haben es daher versucht, dieselben aus der Formel selbst abzuleiten, um hierdurch einen Maassstab für ihre Genauigkeit zu erhalten, und geben nun nachstehend die Entwicklung derselben.

Sei C (Fig. 226) das Centrum der Luftblase, PQ die untere Grenzfläche der umgebenden Flüssigkeit, deren Brechungscoefficient n bestimmt werden soll; ferner AB das Object und $\alpha\beta$ das von der Luftblase entworfene Bild. Alsdann werden die von A und B ausgehenden Strahlen an der Grenzfläche PQ so gebrochen, als ob sie von den Punkten $A'B'$ ausgingen. Da der Abstand des Punctes C von PQ vernachlässigt werden darf, so besteht die Beziehung:

$$A'B' = \frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} \cdot AB,$$

wenn α und α' die Neigungswinkel der Geraden AC und $A'C$ bezeichnen. Sind diese Winkel sehr klein, so verhalten sich ihre Tangenten, wie ihre Sinus, und man hat:



Figur 226.

$$A' B' = \frac{1}{n} A B .$$

Wird nun der Abstand des Bildchens vom Centrum der Luftblase gleich der Brennweite f angenommen, was bei einer hinreichend grossen Objectsweite unbedingt erlaubt ist, so ergibt sich, wenn wir die Harting'schen Bezeichnungen einführen, die Proportion:

$$\frac{1}{n} b : c = a : f ,$$

folglich

$$b : c = a : \frac{1}{n} f$$

und hieraus

$$\frac{1}{n} f = \frac{a c}{b} ,$$

oder wenn man statt f seinen Werth für Centralstrahlen setzt:

$$\frac{r}{2 n (n - 1)} = \frac{d}{4 n (n - 1)} = \frac{a c}{b} .$$

Durch eine leicht zu übersehende Umsetzung erhält man hieraus die quadratische Gleichung:

$$n^2 - n = \frac{b d}{4 a c} ,$$

deren Auflösung die obige Formel von van Rees ergibt. Dieselbe ist also nur unter der Voraussetzung richtig, dass das Bildchen in den Brennpunct für Centralstrahlen falle, und diese Voraussetzung ist, wie wir gezeigt haben, durchaus unzulässig. Die Brennweite für Centralstrahlen beträgt in Wasser, wenn $n = \frac{4}{3}$ gesetzt wird, genau $1,5 r$, der Abstand des Bildchens dagegen bei mittlerer und starker Vergrösserung nur c. $1,368 - 1,30 r$.

439 Wie Harting dessenungeachtet zu Resultaten gelangen konnte, welche bis zur 4ten Decimale genau sein sollen, ist uns unbegreiflich. Unsere Messungen ergaben für bekannte Flüssigkeiten (Wasser, Citronenöl etc.), wie sich erwarten liess, durchgehends zu hohe Werthe für n , für Wasser z. B. $1,354$ bis $1,348$, und wir glauben hieraus mit Sicherheit entnehmen zu dürfen, dass die nach der Harting'schen Formel erhaltenen Ziffern ganz allgemein schon in der zweiten Decimale wenigstens um eine Einheit von dem wahren Werthe abweichen. Der Fehler müsste sogar noch etwas grösser ausfallen, wenn in obiger Gleichung für $\frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha}$ der wahre Werth dieses Ausdrucks, statt $\frac{1}{n}$, gesetzt würde, und zwar ergibt die Rechnung für die Harting'schen Messungen, wobei $a = 5 b$, folgende Verhältnisse.

Die zu untersuchende Flüssigkeit sei reines Wasser, dann ist $\frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = 0,997658 \cdot \frac{1}{n}$ und die Brennweite der Luftblase für Randstrahlen von 45° (bei stärkern Vergrösserungen sind noch grössere Neigungen maassbestimmend) $= 1,3689 \cdot r$, also nur $0,94258$ der Hauptbrennweite f .

Führt man diese Werthe in die betreffenden Gleichungen ein, so erhält man :

$$n = \frac{0,91258}{0,99765} \cdot \frac{bf}{ac} = 0,91474 \cdot \frac{bf}{ac}$$

und hieraus wie oben :

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + 0,91474 \cdot \frac{bd}{4ac}}$$

Das zweite Glied unter dem Wurzelzeichen ist also in der Harting'schen Formel zu gross. Um den Fehler annähernd gut zu machen, müsste im gegebenen Falle das Verhältniss von b zu a so gewählt werden, dass $\frac{\tan \alpha'}{\tan \alpha} = 0,91258 \cdot \frac{1}{n}$. Die Brennweite der bilderzeugenden Strahlen würde zwar dadurch ebenfalls etwas verändert, jedoch nicht in erheblichem Grade.

Man ersieht aus dem Angeführten, dass es nicht wohl möglich ist, an der genannten Formel eine Correction anzubringen, welche ihr allgemeine Geltung verleiht, da die Correctionsgrösse wieder von dem unbekannten Brechungscoefficienten abhängig sein muss. Für die meisten Flüssigkeiten wird indess der oben für Wasser bestimmte Coefficient 0,91474 (oder auch 0,9) wenigstens die ersten beiden Decimalen richtig liefern.

Uebrigens scheint uns bei mikroskopischen Untersuchungen die Be- 440
stimmung des Brechungscoefficienten von Flüssigkeiten weniger wichtig zu sein, als die von festen Körpern. Wir haben uns daher bemüht, eine ähnliche Formel auch für kugelige und cylindrische Körper, wie Stärkekörner, Bastzellen u. dgl., aufzustellen und experimentell zu prüfen. Sei f die (wirkliche) Brennweite für Centralstrahlen, F die gemessene Brennweite derselben, n der Brechungscoefficient der Beobachtungsflüssigkeit, n^* derjenige des kugeligen oder cylindrischen Gegenstandes und D sein Durchmesser; dann ist nach Früherem für Centralstrahlen (wegen der Verkleinerung der Niveaudifferenzen, vgl. pag. 246) $f = n F$, folglich :

$$n F = \frac{n^* D}{4(n^* - n)};$$

hieraus

$$n^* = \frac{n^* F}{n F - \frac{1}{4} D}.$$

Nimmt man nun an, die Brennweite der maassbestimmenden Randstrahlen betrage 0,9 der in diesem Ausdruck figurirenden Hauptbrennweite, so muss der durch Messung erhaltene Werth von F mit $\frac{10}{9}$ multiplicirt werden, wenn die Formel annähernd richtige Ergebnisse liefern soll. Ob diese Annahme bei einem gegebenen Objectiv mit der Wirklichkeit übereinstimmt, muss natürlich experimentell geprüft werden, indem man z. B. Oeltropfen oder cylindrische Glasfäden, deren Brechungscoefficient bekannt ist, mikroskopisch untersucht. Wir wollen der Allgemeinheit wegen statt $\frac{10}{9}$

die Grösse β in die Formel einführen; dann wird dieselbe für Objecte, die in Wasser liegen ($n = 1,3356$):

$$n^* = \frac{1,7838 F}{1,3356 F - \frac{1}{4\beta} D} \quad \text{oder annähernd} \left(n = \frac{4}{3} \right)$$

$$n^* = \frac{16 F}{12 F - \frac{9}{4\beta} D} = \frac{8 F}{6 F - \frac{9}{8\beta} D}$$

und für Objecte, die in Alkohol liegen ($n = 1,364$)

$$n^* = \frac{1,86 F}{1,364 F - \frac{1}{4\beta} D} = \frac{8,37 F}{6,1365 F - \frac{9}{8\beta} D}$$

Da der Coefficient $\frac{9}{8\beta}$ jedenfalls annähernd der Einheit gleich ist, so muss der Werth von n^* um so genauer ausfallen, je grösser F gegen D . Ist z. B. $F = 2 D$, was nach unsern Messungen bei kleinen kugeligen Stärkekörnern von 18—24 Mik. Durchmesser und ebenso bei cylindrischen Bastzellen nahezu der Fall ist, so ergeben sich für n^* folgende Werthe:

$$\beta = \frac{10}{9} \quad \text{dann wird} \quad n^* = 1,456$$

$$\beta = \frac{9}{8} \quad - \quad - \quad n^* = 1,454$$

$$\beta = \frac{8}{7} \quad - \quad - \quad n^* = 1,452$$

$$\beta = \frac{7}{6} \quad - \quad - \quad n^* = 1,450$$

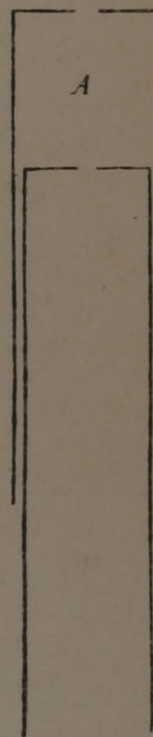
Die ersten beiden Decimalen dürfen also, wenn die Messungen genau sind, als richtig betrachtet werden, was bei vergleichenden Untersuchungen an verschiedenen Zellmembranen oder verschiedenen Quellungsstadien derselben Membran in den meisten Fällen ausreicht.

- 441** Zur annähernden Bestimmung des Brechungscoefficienten hohleylindrischer Gebilde wurden bereits oben (pag. 205) einige Anhaltspunkte geboten, und es wäre ein Leichtes, jene Tabelle nach Belieben zu vervollständigen. Für die Praxis wäre jedoch damit nicht gar viel gewonnen, da die Hauptschwierigkeit, die man hier zu bekämpfen hat, darauf beruht, die Lage der (äussern) hellen Linien mit Rücksicht auf die Contouren der Wandung hinlänglich genau zu bestimmen. Es hält das in der Regel so schwer, dass das Verfahren nur zur Ermittlung grösserer Differenzen im Brechungsvermögen dienen kann. Immerhin aber genügt es vollkommen, um z. B. den grossen Unterschied zwischen den Membranen der Fadenalgen und den Haaren der Boragineen etc. nachzuweisen.

3. Die Durchleuchtung der Körper.

Nach den Versuchen von Sachs*) haben pflanzliche Gewebe die 442 Eigenschaft, die brechbareren Strahlen des Spectrums in stärkerem Verhältniss zu absorbiren, als die weniger brechbaren. Daraus folgt denn, dass Gewebelamellen, welche z. B. aus Kartoffeln, Früchten u. dgl. geschnitten wurden, nur bis zu einer gewissen Dicke weisses Licht durchlassen, dann aber — wenn die Dickenzunahme allmählig weiter und weiter über diese Grenze hinausgeht — der Reihe nach die violetten, blauen, grünen . . . Strahlen absorbiren und daher dem beobachtenden Auge in der Mischfarbe der nicht absorbirten durchgehenden Strahlen, zuletzt also noch roth erscheinen.

Sachs stellte seine Beobachtungen mit Hülfe eines höchst einfachen Apparates an, welcher aus zwei in einander verschiebbaren und an den Enden mit kleinen Oeffnungen versehenen Röhren (Fig. 227) bestand. Die zu untersuchende Gewebelamelle wurde bei A zwischen die beiden Röhrenenden eingeklemmt und nun gegen die Sonne oder eine weisse Wolke gehalten, hiebei jedoch das andere (zweckdienlich zugeschnittene) Ende des Apparates behufs Abhaltung alles fremden Lichtes möglichst dicht an die Umgebung des Auges angedrückt. — Um noch einen Schritt weiter zu gehen, kann man am Ocularende der Röhre ein Prisma einfügen, welches die resultirende Mischfarbe zerlegt. Auf diese Weise gelang es Sachs, nicht bloss die Elementarfarben des durchgehenden Lichtes einzeln zur Wahrnehmung zu bringen, sondern auch zu zeigen, dass das in Plasma eingelagerte Chlorophyll grüner Gewebe dieselben Absorptionsstreifen im Spectrum hervorruft, wie sie bei Chlorophyll-Lösungen längst bekannt sind.**)



Figur 227.

Näheres über die Einrichtung eines solchen »Diaphanoscops« mitzutheilen, halten wir für überflüssig, da das Instrument in der Hand eines geschickten Beobachters gewiss noch manche Vervollkommnungen erfahren, und eine bloss dem Zweck einer vorläufigen Orientirung dienliche Construction schon nach dem Gesagten Niemanden schwer fallen wird.***)

*) Sitzungsber. der Wien. Akad. d. Wiss. Bd. XLIII, 1860.

**) Zuerst beobachtet von Brewster (1834), seitdem wiederholt untersucht. Dabei ergab sich, dass die Absorptionsbänder des lebenden Blattes, verglichen mit denen einer Chlorophylllösung, sämmtlich gegen das rothe Spectrumende verschoben sind. Vgl. Kraus, Chlorophyllfarbstoffe, Stuttgart 1872.

***) Eine Abbildung des von Sachs benutzten »analysirenden Diaphanoscops« findet man in dessen Handbuch der Experimentalphysiologie, p. 7.

- 443 Man könnte uns hier, im Hinblick auf das eben skizzirte Beobachtungsverfahren, mit der Frage entgegentreten, ob Untersuchungen dieser Art, wobei die Gewebe nur in ihrer Gesamtwirkung, gleichsam als homogene Massen, in Rechnung kommen, überhaupt in das Gebiet der Mikrophysik gehören. Diese Frage hätte insofern ihre Berechtigung, als das Mikroskop für die Beobachtung der Lichtabsorption selbst allerdings so gut wie keine Bedeutung hat. Liesse sich auch ein schwach vergrößerndes Instrument leicht zweckentsprechend einrichten, indem man die Lichtstärke möglichst steigerte und durch eine Beleuchtungslinse directes Sonnenlicht in convergirenden Strahlen auf das Object einfallen liesse, so hätte ein solches Verfahren doch offenbar nur dann einen Werth, wenn die Kleinheit des Gegenstandes die Beobachtung mit blossem Auge erschweren würde, und dieser Fall kann aus dem einfachen Grunde nicht leicht eintreten, weil eine gewisse und zwar oft ziemlich beträchtliche Ausdehnung in der Richtung der durchgehenden Strahlen nothwendig ist, um die erwähnte Lichtabsorption überhaupt wahrnehmbar zu machen. — Andererseits lässt sich aber nicht in Abrede stellen, dass eine vollständige Verwerthung der beobachteten Farbenerscheinungen, ja schon eine befriedigende Erklärung derselben, ohne die genaueste Kenntniss der Gewebe, welche sie hervorrufen, nicht möglich ist. Wie soll der Einfluss der verschiedenen Medien, welche hiebei in Betracht kommen: der Zellmembranen und Stärkekörner, der Plasmagebilde, Farbstoffe etc. bestimmt werden, wenn man nicht durch eine Reihe von Beobachtungen an Geweben, worin jene Medien in quantitativ verschiedener Weise combinirt sind, die Beziehungen ermittelt, welche zwischen der Zu- und Abnahme eines bestimmten Factors und der resultirenden optischen Wirkung bestehen? Der Beobachter hat es hier offenbar mit einem complicirten Problem zu thun, dessen Lösung nicht eher möglich ist, als bis so viele Beziehungen, oder, um einen mathematischen Ausdruck zu gebrauchen, so viele Gleichungen ermittelt sind, als man Unbekannte zu bestimmen hat. Und weil die Daten, welche in diese Beziehungen eintreten, zum guten Theil anatomische sind, so muss der mikroskopischen Beobachtung bei solchen Untersuchungen immerhin eine wesentliche Stelle eingeräumt werden.

4. Einfluss des Lichtes auf Vegetationsprocesse.

- 444 Von den Wirkungen des Lichts auf das Pflanzenleben, welche der Beobachtung durch das Mikroskop zugänglich sind, wollen wir hier nur diejenigen erwähnen, deren richtige Deutung zu den schwierigeren Aufgaben der mikroskopischen Forschung zu rechnen ist. Es wäre überflüssig, gewöhnliche entwicklungsgeschichtliche Vorgänge, welche auf Präparaten, die die erforderlichen Uebergangsstadien repräsentiren, so zu sagen direct beobachtet werden können, an dieser Stelle besonders in Betracht zu ziehen.

Eine der wichtigsten der hieher gehörigen Fragen, deren Anregung wir Sachs zu verdanken haben, betrifft die Amylumbildung in den Chlorophyllkörnern. Sachs beobachtete, dass Keimpflanzen, welche sich so lange im Finstern entwickelt hatten, bis die früher vorhandene Stärke und das Fett aus allen Organen verschwunden waren, im Verlaufe ihres weiteren Wachstums am Tageslichte zuerst in den Chlorophyllkörnern der grün gewordenen Blätter, dann in den leitenden Geweben der Blattstiele und noch später in dem farblosen Parenchym kleine Stärkekörnchen enthalten, und dass diese Körnchen bei Abhaltung des Lichtes wieder verschwinden, um bei erneuter Lichteinwirkung zum zweiten Male zum Vorschein zu kommen. Er schloss hieraus, dass die Chlorophyllkörner die ursprüngliche Bildungsstätte der Stärkekörner seien, und dass hier der Wechsel von Tag und Nacht einen entsprechenden Wechsel von Stärkebildung und Stärkeauflösung bedinge, wovon jedoch die erstere während der langen Sommertage vorwiege.*)

Diese merkwürdige Thatsache, deren Richtigkeit gegenwärtig nicht mehr zu bezweifeln ist, führt unwillkürlich zu der Vermuthung, es könnte vielleicht möglich sein, an günstigen Objecten die Erscheinung einer periodisch stattfindenden Resorption zur Wahrnehmung zu bringen. Denn da die letztere, ähnlich wie bei der Keimung und der Einwirkung des Speichels, voraussichtlich an der Oberfläche vor sich geht, indess das Wachstum unter dem Einflusse des Lichtes durch Intussusception geschieht, so müssten die im Chlorophyll enthaltenen Körner nach und nach das Aussehen von in Auflösung begriffenen Kartoffelstärkekörnern annehmen, d. h. die Schichten müssten an der Oberfläche unter spitzern oder stumpfern Winkeln zu Tage gehen, und eine peripherische Schicht von dichter Substanz und mit grösserer Widerstandsfähigkeit gegen Reagentien könnte nicht mehr vorhanden sein. Dieser letztere Punct erscheint uns bei der Kleinheit der fraglichen Objecte, welche allerdings dem Studium des Schichtenverlaufes wenig Aussicht auf Erfolg eröffnen, besonders beachtenswerth. Es wäre vielleicht möglich zu zeigen, dass die Beschaffenheit der peripherischen Schicht bei kleinen Körnern, welche im Marke oder in der Wurzel etc. entstanden sind, eine andere ist als bei solchen, welche als Einschlüsse im Chlorophyll erscheinen und hier einem allnächtlich wiederkehrenden Auflösungsprocess ausgesetzt sind. Gelänge diess, so wäre damit immerhin eine werthvolle Thatsache gewonnen, welche unsere Vermuthung in Betreff der Wirkungsweise der lösenden Agentien bestätigen würde.

*) Näheres hierüber findet man in den Abhandlungen von Sachs: 1) Ueber den Einfluss des Lichts auf die Bildung des Amylums in den Chlorophyllkörnern (Bot. Ztg. 1862); 2) Ueber die Auflösung und Neubildung des Amylums in den Chlorophyllkörnern bei wechselnder Beleuchtung (Bot. Ztg. 1864). Vgl. ferner Kraus, Jahrb. f. wiss. Bot. VII, p. 544.

445 Ein zweiter Punct, der einer genauern Untersuchung mit Hülfe des Mikroskops bedarf, ist die ebenfalls von Sachs *) beobachtete Farbenänderung grüner Blätter im Sonnenlicht. Dieselben werden bei starker Insolation beträchtlich heller, »um im Schatten nach kurzer Zeit wieder dunkelgrün zu werden. Durch theilweise Beschattung eines Blattes gelingt es, Schattenbilder auf seiner grünen Fläche zu erzeugen, die aber, sobald das ganze Blatt beschattet oder beleuchtet wird, wieder verschwinden, indem im erstern Falle die ganze Fläche dunkler, im zweiten heller wird«. Die Erklärung dieser Erscheinung liegt nun zwar, neuern Beobachtungen zufolge, unzweifelhaft in der verschiedenen Gruppierung der Chlorophyllkörner bei wechselnder Beleuchtung. Diese sammeln sich z. B. in den Blättern der Moose und in andern einschichtigen Organen bei andauernder Dunkelheit an den Seitenwandungen der Zellen, während sie bei normaler Vegetation die freien Wände der Ober- und Unterseite bekleiden, und analoge Wanderungen finden nachgewiesener Maassen auch in mehrschichtigen Organen statt. Allein über die Einzelheiten dieser Vorgänge sind die Ansichten noch nicht abgeklärt; es bedarf daher weiterer Untersuchungen, um die Frage endgültig zu erledigen.

Ebenso ist in Betreff der anderweitigen Verschiedenheiten, welche die Färbung grüner Gewebe, speziell der Blätter, darbietet, zur Zeit noch wenig bekannt. Die Blattfarben differiren bekanntlich nicht bloss mit Rücksicht auf ihre Intensität, sondern auch hinsichtlich des Tons, den das ihnen eigenthümliche Grün besitzt. Es giebt grasgrüne, meergrüne, graugrüne Blätter u. s. w. Dass diese Verschiedenheit der Farbennuance nicht allein in der Farbe des Chlorophylls und in der Lage der einzelnen Körner ihren Grund hat, sondern zum Theil von der grössern oder geringern Durchsichtigkeit der peripherischen Zellmembranen, von der Zahl und Grösse luftführender Zwischenzellräume, **) von der Natur des Zellinhaltes u. dgl. abhängig ist, lässt sich von vorne herein annehmen. Es würde sich also darum handeln, zunächst die Factoren kennen zu lernen, welche überhaupt bestimmend auf den Ton der Blattfarben einwirken, und sodann in zweiter Linie den Effect zu ermitteln, den die Combination dieser Factoren hervorruft.

*) Berichte der math.-phys. Kl. der Kgl. Sächs. Gesellsch. der Wiss. 1859. Einiges Nähere findet man im »Handb. der Experimentalphysiologie der Pflanzen« von dems. Verf. p. 16.

**) Wie sehr die Beschaffenheit der oberflächlichen Zellschichten auf die Färbung influirt, beweist beispielsweise das Verhalten mancher Flechten, deren Gonidienschicht im trockenen Zustande, d. h. wenn die darüber liegenden Rindenzellen Luft enthalten, kaum durchschimmert, während sie nach dem Eintauchen der Flechte in Wasser, weil dasselbe die Luft wenigstens theilweise verdrängt oder absorbirt, eine deutlich grüne Färbung der obern Thallusfläche bedingt. Diess gilt auch von solchen Flechten, welche eine der Epidermis vergleichbare, aus einer einzigen Zellschicht bestehenden Rinde besitzen.

IV.

Wärme.

Ueber die Wirkungen der Wärme und Kälte auf das Pflanzenleben be- 446
sitzen wir bereits eine ganz ansehnliche Literatur.*) Dieselbe befasst sich
jedoch, wie schon ein flüchtiger Ueberblick zeigt, zum weitaus grössern
Theile mit Gebieten, welche die Mikrophysik nicht berühren und folglich
ausserhalb des Rahmens liegen, an den wir uns hier zu halten haben. Das
Wenige, was auf mikroskopische Dinge Bezug hat oder doch Schlüsse auf
mikroskopische oder moleculare Verhältnisse gestattet, lässt sich etwa in
folgende Punkte zusammenfassen.

1. Krystallbildungen bei dem Gefrieren.

Lässt man Durchschnitte durch saftige Pflanzentheile, z. B. durch 447
Runkelrüben, bei einer Temperatur von $3-6^{\circ}$ R. unter Null sich langsam
abkühlen, so bedecken sie sich, wenn die Verdunstung durch Auflegen
einer Glasplatte oder auf irgend eine andere Weise gehemmt wird, mit
einer Eiskruste, welche eine Dicke von $2-3^{\text{mm}}$ und darüber erreichen
kann. Diese Eiskruste besteht, wie die mikroskopische Untersuchung zeigt,
aus kleinen, unregelmässig sechseckigen Krystallsäulen, welche pallisaden-
artig neben einander stehen und mit ihren Seitenflächen sich unmittelbar
berühren. Der Durchmesser dieser Krystalle wechselt zwischen $0,1$ und
 $0,3^{\text{mm}}$ und ist von der Grösse der darunter liegenden Zellen unabhängig.
Von der Seite gesehen, zeigt das Innere der Krystalle höchst regelmässige
Reihen von Luftblasen, welche den Kanten parallel laufen, und deren ein-
zelne Glieder bisweilen durch dünne Kanäle mit einander in Verbindung
stehen; auch sieht man häufig, dass kleine Krystalle von der Schnittfläche
aus wie Keile zwischen die grössern eingeschoben sind, während umge-
kehrt auf der obern Seite niemals solche Eiskeile auftreten. Die Substanz
der Krystalle ist nicht reines Wasser, sondern reagirt sauer, wie der
Zellsaft.

Die Krystallbildung unterbleibt, wenn man die Pflanzentheile einer
solchen Kälte ($12-20^{\circ}$) aussetzt, dass sie zu harten Massen erstarren; sie
unterbleibt ferner an all den Stellen, wo die Verdunstung frei von statten
geht.**)

*) Man vergleiche J. Sachs: Handbuch der Experimentalphysiologie der Pflanzen,
Leipzig 1863, und dessen Lehrbuch der Botanik, 4. Aufl. 1874.

**) Einiges Nähere findet man in der Abhandlung von Sachs: »Krystallbildungen
bei dem Gefrieren etc.« (Ber. der K. Sächs. Ges. der Wiss. 1860), welcher wir obige
Angaben entnommen haben.

Aus diesen Thatsachen ergibt sich zunächst, dass die krystallbildende Flüssigkeit von den Zellen, nicht von der Atmosphäre, geliefert wird. Daraus folgt aber ferner, dass der im Gewebe enthaltene wässerige Zellsaft bei einer Temperatur von $3-6^{\circ}$ R. unter Null noch nicht gefriert, vielmehr in flüssigem Zustande die Membranen durchströmt, um an der Oberfläche zu erstarren. Mehrere Procent des gesamten wässerigen Inhaltes werden auf diese Weise dem Gewebe entzogen und in Eis übergeführt.

- 448 Fragen wir nach den Kräften, welche eine solche Strömung stundenlang zu unterhalten vermögen, so sind wir vorläufig auf mehr oder minder hypothetische Ansichten und Vermuthungen angewiesen, die alle die Probe des Experiments noch nicht bestanden haben. Sachs (l. c. pag. 6) stellt den Vorgang mit dem Steigen des Saftes in Folge der Verdunstung in Parallellé. Nach ihm ist jede freie Zellhautfläche mit einer dünnen Wasserschicht bedeckt, welche, wenn sie gefriert, sofort durch eine nachströmende zweite ersetzt wird, ganz so, als ob sie durch Verdunstung entfernt worden wäre. Die gefrorene Schicht soll sich hiebei wie eine Schicht von Asphaltlack verhalten, welche auf einer trockenen Harnblase oder auf trockenem Papier mit enormer Kraft haften, sich aber in grossen Stücken ablösen, wenn die Blase oder das Papier mit Wasser benetzt werde, weil damit ebenfalls die Bildung einer feinen Wasserschicht zwischen Lack und Unterlage verbunden sei.

An dieser Darstellung ist der Grundgedanke, das Vorhandensein einer dünnen Flüssigkeitsschicht zwischen Krystallbasis und Unterlage und die fortwährende Erneuerung derselben durch nachströmendes Imbibitionswasser jedenfalls richtig. Es wird auch in überzeugender Weise nachgewiesen, dass die geringe Ausdehnung des Wassers von 4° abwärts bis zum Gefrierpunct und der dadurch hervorgebrachte Druck bei dieser Erneuerung nicht in Betracht kommt. Dieselbe findet nämlich in gleicher Weise auch dann noch statt, wenn der Versuch mit frischen Geweben von $40-120^{\circ}$ (wo das Wasser einen grössern Raum einnimmt als bei 0°) angestellt wird. Ebenso darf mit Sicherheit angenommen werden, dass die Contraction des Gewebes, welche mit der Krystallbildung verbunden ist, zum grössten Theil als eine Folge der Wasserabgabe und nicht als die Ursache derselben zu betrachten sei. *)

*) Eine der Wasserabgabe entsprechende Contraction ist bei einem safterfüllten Gewebe selbstverständlich. Wenn z. B. ein Querschnitt durch eine Runkelrübe, welcher im frischen Zustande 90 Gramm wiegt, während des Gefrierens 5 Gramm und beim Auftauen noch 3 Gramm, also im Ganzen 8 Gramm verliert, so ergibt sich hieraus eine Volumverminderung von 90 auf 82, was einer Contraction von c. $30/100$ nach jeder Richtung gleichkommt. Bringt man bloss die 5 Gramm Gewichtsverlust während des Gefrierens in Rechnung, so würde diess eine Volumenabnahme von c. 106 auf 100 ausmachen; allein da das Wasser sich beim Gefrieren von 100 auf 109 ausdehnt, so behält dieser Factor das Uebergewicht und bedingt eine Ausdehnung von c. $10/100$ nach jeder Richtung. Wir bemerken übrigens, dass die experimentelle Bestätigung dieser Rechnung noch nicht geliefert ist. Sachs, dem wir obige Gewichtsangaben entlehnt haben, unterliess es, die entsprechenden Volumveränderungen zu bestimmen.

Dagegen erscheinen uns die herbeigezogenen Analogieen mit der Verdunstung und mit dem Ablösen der Asphalttschicht wenn auch nicht nachweisbar unzulässig, so doch mindestens von zweifelhafter Berechtigung. Beides sind Vorgänge, die allem Anschein nach mit dem in Frage stehenden Nichts gemein haben. Die Verdunstung entzieht einem feinen System von Capillarräumen, den Micellarinterstitien der Membranen, die obersten Wassertheilchen, und es ist natürlich, dass die capillaren Kräfte den Verlust sogleich ersetzen. Eine andere Wasserschicht als die, welche von den Wasserhüllen der peripherischen Micellen gebildet wird, ist hier nicht vorhanden. Anders verhält es sich mit der zu erörternden Krystallbildung, soweit wenigstens die bisher angestellten Versuche darüber Aufschluss geben. Dieselbe spielt ausserhalb der Capillarräume, welche die Membranicellen von einander trennen; sie beginnt mit dem an der Oberfläche (z. B. in durchschnittenen Zellen oder durch Auspressen) vorhandenen Wasser und veranlasst dadurch die Entstehung eines neuen, aber wahrscheinlich viel gröbern Capillargefässystems, das an der Innenfläche der Eiskruste dahinzieht. Nur das Wasser, welches in dieses letztere System von Capillaren eindringt, gefriert, dehnt sich dabei etwas aus und bildet so neue Capillaren, in welchen der nämliche Process sich wiederholt. Und so geht es fort, so lange die Flüssigkeit nachströmt, ganz so, wie man es auch bei der Bildung künstlicher Krystalle vielfach beobachtet.*)

Diese Auffassung entspricht den bekannten Thatsachen jedenfalls besser, als die Annahme einer Eisbildung in den Wasserhüllen der peripherischen Membrantheilchen. So lange nicht experimentell nachgewiesen ist, dass ein durch eine continuirliche Membran abgeschlossenes Gewebe (z. B. benetzbare Früchte und saftige Blätter) die in Rede stehende Erscheinung ebenfalls hervorruft, ohne dass vorher eine Wasserschicht von mikroskopisch wahrnehmbarer Dicke die Oberfläche überzieht, so lange ist es gestattet, an der Möglichkeit einer solchen Eisbildung zu zweifeln.**)

Dass die einmal gebildete Eiskruste sich aus dem nämlichen Grunde ablöse, wie eine Lackschicht auf einer quellungsfähigen Substanz beim Befeuchten derselben, ist ebenso unwahrscheinlich. Die Lackschicht löst sich vorzüglich desshalb ab, weil die Quellung der Substanz eine seitliche Verschiebung ihrer kleinsten Theilchen bedingt und so den Zusammenhang mit den Lacktheilchen aufhebt, — ein Vorgang, wozu in unserem Falle die Bedingungen offenbar fehlen.

*) Das Wachsthum künstlicher Krystalle findet häufig in der hier bezeichneten Weise statt. Man beobachtet z. B., wie Krystallnadeln, die an den feuchten Wänden eines Gefässes anschliessen, ohne die Mutterlauge zu berühren, sich durch Anlagerung neuer Substanz zwischen Gefässwand und Krystall oft sehr bedeutend verlängern.

**) Die von Hoffmann (Pflanzenklimatologie 1857, p. 329) beobachteten und von Sachs erwähnten Krystallbildungen auf der Unterseite der Blätter von *Viburnum Tinus* und *Aucuba*, bestehend aus feinen Eisnadelchen von charakteristischer Gruppierung, sind in dieser Frage nicht entscheidend, da sie möglicher Weise durch die Spaltöffnungen bedingt waren oder sogar von diesen ausgingen.

Die Annahme, dass der wässerige Zellsaft aus dem engen Capillarsystem der Micellarinterstitien in das wahrscheinlich viel weitere der Eiskruste ausströme, hat unter den gegebenen Verhältnissen nichts Unwahrscheinliches. Die Capillarattraction, welche an der Oberfläche der Gewebe wirksam ist, hat nämlich bloss die Widerstände zu überwinden, welche die Zellmembranen dem Durchgang der Flüssigkeitstheilchen und vermöge ihrer Biegungsfestigkeit auch der Verkleinerung des Zelllumens entgegensetzen. Diese Widerstände sind voraussichtlich um so geringer, je dünner und weicher die Zellmembranen.

- 450 Die im Vorhergehenden besprochenen Krystallbildungen stimmen wahrscheinlich mit einer Reihe anderer Erscheinungen überein, welche von Elliot, Herschel, Dana, Le Conte, Bouché und Caspary beobachtet wurden. Es sind diess nadelförmige, rechtwinklig von der Unterlage abstehende Eiskrystalle oder auch blattähnliche Bildungen, die sich an der Basis der Baumstämme, an den Stumpfen abgestorbener Disteln, an Zweigen verschiedener Pflanzen etc. entwickelt hatten und zum Theil eine beträchtliche Länge erreichten.*) Auch die Eisscheiben auf den Blattnarben der abgefallenen oder im Abfallen begriffenen Blätter, welche von Mohl beschrieben wurden (Bot. Ztg. 1860), gehören wahrscheinlich hieher. Alle diese Erscheinungen müssen indess erst genauer untersucht werden, ehe sie in der Mikrophysik Verwerthung finden können.

2. Das Gefrieren der Gewebe.

- 451 Die den Winter über ausdauernden Pflanzentheile müssen bei anhaltender grosser Kälte, auch wenn sie durch schlechte Wärmeleiter geschützt sind, offenbar nach und nach die Lufttemperatur annehmen und daher voraussichtlich gefrieren. Dass diess in vielen Fällen wirklich geschieht, beweisen die bekannten Erscheinungen, welche man nach der Einwirkung einer strengen Kälte an Früchten, Kartoffeln etc. beobachtet. Die Gewebe erscheinen alsdann vollkommen steif und brüchig und die Bruchflächen weisslich, was voraussetzt, dass ein grosser Theil ihrer Masse in einen andern Aggregatzustand übergegangen sei. Diess folgt auch aus dem Verhalten solcher Gewebe beim Auftauen. Dieselben erwärmen sich viel langsamer als ungefrorene Gewebe von gleicher Temperatur, wie sich Eis von 0 Grad langsamer erwärmt als eine gleiche Menge Wasser; das Eine wie das Andere offenbar darum, weil die Wärme des umgebenden Mediums zunächst zum Schmelzen des Eises verwendet wird.
- 452 Welche Kältegrade das Gefrieren des wässerigen Zellsaftes mit physikalischer Nothwendigkeit herbeiführen, ist bis jetzt nicht genauer festge-

*) Näheres hierüber findet man bei Caspary: »Auffallende Eisbildungen auf Pflanzen« (Bot. Ztg. 1854, p. 665).

stellt; nur soviel ist gewiss und in Anbetracht der ungleichen Concentration der Säfte auch vorauszusehen, dass die Erstarrungspuncte bald höher bald tiefer, aber immer etwas unter Null liegen.

Der Gehalt an löslichen Bestandtheilen scheint übrigens nicht der einzige Umstand zu sein, welcher auf die Lage des Gefrierpunctes influirt; es ist wahrscheinlich, dass ausserdem noch die mikroskopische Kleinheit der Zellen und der darin enthaltenen Wassermengen in Anschlag kommt. Wir schliessen diess aus der bekannten Thatsache, dass kleine Wassertropfen und ebenso die Wassersäulen in feinen Capillarröhren bis unter 0 Grad flüssig bleiben und erst bei tiefern Temperaturen erstarren. *) In welchem Verhältniss aber der Widerstand, den die Molecularkräfte der Eisbildung entgegensetzen, mit der Kleinheit der Zelle zunimmt, ob vielleicht auch die besondern Formverhältnisse darauf Einfluss üben, unter welchen Bedingungen endlich das Imbibitionswasser in den Micellarinterstitien der Membranen, des Protoplasmas und der Stärkekörner gefriert, darüber lässt sich kaum eine Vermuthung aussprechen.

Betreffend die Volumveränderungen, welche das Gefrieren der Gewebe bedingt, so sind zunächst folgende Puncte zu berücksichtigen. Ein gegebenes Quantum Wasser von 0 Grad dehnt sich beim Uebergang in Eis um ungefähr $\frac{1}{10}$ seines Volumens aus; die Oberfläche einer Zelle muss sich also von 100 auf 106 oder um c. $\frac{1}{17}$ ihres ursprünglichen Werthes vergrössern. Dieser Ausdehnungscoefficient bleibt auch dann noch nahezu derselbe, wenn die Zellflüssigkeit vor dem Gefrieren eine Temperatur von 15—20° besitzt und sich folglich während der Abkühlung etwas contrahirt. Die Zellmembranen müssten sich also, wenn sonst keine Veränderungen stattfänden, in Folge der Eisbildung um c. $\frac{1}{17}$ ihrer ursprünglichen Fläche oder um $\frac{1}{33}$ nach jeder Dimension ausdehnen. Allein es kommt hier noch ein physiologischer Factor in Betracht, welcher diese Schlussfolgerung modificirt. Die Zellen befinden sich nämlich, so lange sie leben, im Zustande der Turgescenz, und zwar erreicht dieselbe einen um so höhern Grad, je kräftiger sie vegetiren. Da nun die vegetativen Processe während der Abkühlung allmählig schwächer werden und endlich vollständig erlöschen, so ist es leicht möglich, dass die Membranen im turgescirenden Zustande ebenso stark oder selbst stärker ausgedehnt sind als im gefrorenen. Der

*) Mousson (Poggendorff's Annal. Bd. 405 [1858] p. 161) beobachtete, dass Wasser in Röhren unter 0,7^{mm} im Durchmesser flüssig blieb, obschon das Thermometer im Beobachtungszimmer am Tage nie über — 20° C. stieg und in der Nacht auf — 50° bis — 70° C. sank. Es fand auch dann kein Gefrieren statt, wenn man die Röhren durch Stösse erschütterte.

Ebenso ergaben die Untersuchungen Dufour's (Pogg. Ann. Bd. 444, p. 530), dass Wasserkugeln (von mehreren ^{mm} Durchmesser), welche in einem specifisch gleich schweren Gemisch von Süssmandelöl und Chloroform frei schweben, bis zu 8 und 420° C. unter Null, kleinere sogar bis — 200° flüssig bleiben. Erschütterungen sind auch hier ohne Einfluss; dagegen bewirkt die Berührung mit Eis oder die Durchleitung eines starken elektrischen Funkens augenblickliches Erstarren.

umgekehrte Fall kann natürlich auch vorkommen, aber jedenfalls sinkt der Ueberschuss, welcher allfällig den gefrorenen Zellen im Vergleich mit den turgescirenden noch zukommt, auf eine so geringe Grösse herunter, dass ein Zerreißen der Membran in Folge der Eisbildung undenkbar ist.

Die directen Beobachtungen, welche auf diese Punkte Bezug haben, führen zu den nämlichen Ergebnissen. Blattstiele verschiedener Pflanzen waren nach Messungen von Sachs im gefrorenen Zustande um c. 1—3 Procent kürzer als im turgescirenden; grössere Stücke von Rüben und Kürbisfleisch zeigten dagegen nach dem nämlichen Beobachter so gut wie keine Veränderung. Der dritte mögliche Fall ist zwar bis jetzt nicht beobachtet; es ist jedoch wahrscheinlich, dass sich unter einer grössern Zahl von Pflanzen auch solche finden würden, die sich beim Gefrieren etwas ausdehnen, namentlich wenn sie vorher bei niedriger Temperatur vegetirten.

Zur Bildung von Rissen fehlt unter diesen Umständen jede Veranlassung. Die Beobachter sind auch einig darin, dass die stärksten Vergrösserungen keine Spur davon wahrnehmen lassen, und durch die diosmotischen Erscheinungen, welche man an gefrorenen und wieder aufgethauten Algenfäden beobachtet, wird überdiess der strenge Beweis geliefert, dass wenigstens hier ein Zerreißen der Zellen nicht stattfindet. Dieselben werden nämlich durch Glycerin oder eine concentrirte Zuckerlösung genau in derselben Weise zusammengedrückt und gefaltet, wie es an der lebenden Pflanze geschieht und wie es überhaupt nur bei vollständig unverletzten Blasen möglich ist. *)

3. Veränderung der Zellhäute beim Aufthauen.

454 Es ist eine durch zahlreiche Versuche festgestellte Thatsache, dass die verderblichen Wirkungen des Frostes auf das Zellenleben nicht durch das Gefrieren an und für sich, sondern durch zu rasches Aufthauen verursacht werden. Die empfindlichsten Blätter behalten ihre volle Frische, wenn man sie mit einer grossen Wassermenge, z. B. einem Liter, zu einem einzigen Eisklumpen erstarren und sodann in einer Luft von c. 4—5° R. langsam aufthauen lässt. Bringt man dagegen gefrorene Pflanzentheile in warme Luft oder in Wasser von 10—20° und darüber, so treten fast augenblicklich die Veränderungen ein, welche den Tod durch »Erfrieren« bezeichnen.

Diese Veränderungen bestehen, soweit sie äusserlich bemerkbar sind: a) im Verluste der Turgescenz und der damit verbundenen Straffheit und Elasticität, b) in der Aenderung der Farbe und Durchsichtigkeit in Folge der Infiltration der luftführenden Räume. Ein erfrorenes Gewebe ist schlaff und unelastisch; es lässt den wässerigen Zellsaft schon bei geringem Druck in Masse auslaufen, und durch starkes Pressen mit den Händen ist es mög-

*) Vgl. Nägeli: Sitzgsber. der k. Akad. der Wiss. in München 1861, p. 268.

lich, die Flüssigkeit in dem Grade zu verdrängen, dass man zuletzt nur eine zähe, ziemlich trockene Masse übrig behält. Flüssigkeiten, welche im lebenskräftigen Gewebe in den Zellen zurückgehalten werden, wie Anthocyan, Gerbstoff u. dgl., diosmiren im erfrorenen von Zelle zu Zelle und in das umgebende Wasser, und genauere Beobachtungen zeigen, dass die diosmotischen Eigenschaften überhaupt wesentlich verändert sind.

Es bedarf nun keiner Erörterung, dass solche Erscheinungen eine tief eingreifende Veränderung der molecularen Kräfte voraussetzen; allein es ist schwer, über die Natur derselben eine bestimmte Vorstellung zu gewinnen, welche etwas mehr als eine blosse Hypothese wäre.

Sachs betrachtet die genannten Vorgänge einfach als Folgen erhöhter Permeabilität der Zellhäute und lässt die letztere bedingt sein durch die Vergrösserung der Micellarinterstitien. Er stützt sich hiebei einerseits auf die von Brücke, Ludwig und Fick ausgebildete Theorie der Diffusion, wonach die molecularen Poren einer Haut um so grösser sein müssen, je mehr Salz bei der Diffusion hindurchströmt, und andererseits auf die Beobachtung, dass erfrorene Gewebe in gleichen Zeiten ungleich grössere Mengen von Salz aufnehmen als frische. Die Verkettung von Ursachen und Wirkungen wäre hienach folgende. Die plötzlich gesteigerte Permeabilität bedingt sofort eine entsprechende Wasserabgabe, die negative Spannung der Membran nimmt in Folge dessen ab oder sinkt auf Null, der hydrostatische Druck des Zellsaftes wird dem äussern Luftdruck gleich, die Turgescenz hört auf etc.

Die Annahme einer Vergrösserung der Poren motivirt Sachs*) durch die Vergleichung mit gefrorenem und wieder aufgethautem Stärkekleister oder geronnenem Hühnereiweiss, welche beide im aufgethauten Zustande eine grobporige schwammige Substanz darstellen, aus welcher man mit leichtem Druck Wasser auspressen kann. Um diese Veränderungen zu erklären, nimmt er an, die Substanztheilchen (Eiweiss oder Stärke) ziehen sich nach dem Gefrieren stärker an und bilden so ein bloss aus Eiweis oder bloss aus Stärke bestehendes Netzwerk, in dessen Maschen das frei gewordene Wasser abgeschieden werde. Nichts hindere uns, die so gewonnene Anschauung auf die Zelle zu übertragen. — Hiezu kann bemerkt werden, dass es nicht nöthig ist, eine unmittelbare Berührung der Eiweiss- oder Stärketheilchen anzunehmen; es genügt, dass die Wasserhüllen durch das Gefrieren sich beträchtlich verkleinern und zugleich die Micellen ihre Lagerung soweit ändern, dass zwischen ihnen grössere Lücken entstehen.

Aber gegen die ganze Theorie ist die Einwendung zu machen, dass die durch den Frost bewirkten molecularen Vorgänge im Eiweiss und Stärkekleister offenbar verschieden sind von denen in den Zellmembranen. Im Eiweiss und im Stärkekleister werden die Veränderungen durch das Ge-

*) Handb. d. Experimentalphysiologie, p. 60.

frieren selbst herbeigeführt, was wir uns ohne Zweifel so vorstellen müssen, dass das Imbibitionswasser kleine Eiskrystalle bildet, wodurch die Substanztheilchen eine dauernde Verschiebung erfahren und in einen andern Gleichgewichtszustand zu den Wassertheilchen treten. Die Hypothese, dass die Substanztheilchen dabei sich netzförmig anordnen, ist nicht wohl mit der Bildung von Eisnadeln zu vereinigen; diese Ursache dürfte wohl eher unregelmässige Anhäufungen derselben bewirken.

In der Zellmembran dagegen hat das Gefrieren selbst noch keine dauernde Veränderung zur Folge, denn bei langsamem Aufthauen der Zellen behält die Membran ihre frühern Eigenschaften. Diese Thatsache, in Verbindung mit der früher erwähnten, dass Wasser in feiner Vertheilung sehr schwer in Eis übergeht, macht es überhaupt unwahrscheinlich, dass das Imbibitionswasser der Zellwandungen gefriere. Die moleculare Umlagerung der Membrantheilchen in erfrorenen Zellen, soweit eine solche überhaupt vorkommt, dürfte daher wahrscheinlich durch den absterbenden Zellinhalt verursacht werden. Sie ist ohne Zweifel die gleiche wie in allen krankhaft veränderten und absterbenden Zellen; zu einer bestimmten Vorstellung über die molecularen Vorgänge dürfte jedoch zur Zeit kaum genügendes thatsächliches Material vorliegen.

4. Einfluss der Temperatur auf die Vegetationsprocesse.

456 Die Bestimmung des Einflusses, den die Temperaturunterschiede innerhalb der Grenzwerte, zwischen welchen überhaupt das vegetabilische Leben möglich ist, auf den Verlauf der verschiedenen Lebensprocesse (Assimilation, Stoffwechsel, Zellbildung etc.) ausüben, ist für die Experimentalphysiologie, wenn die Aufgabe in wahrhaft wissenschaftlichem Sinne aufgefasst wird*), mit grossen Schwierigkeiten verbunden, welche auch dem Antheil, der der mikroskopischen Beobachtung zufällt, keineswegs fehlen.

Handelt es sich z. B. um die Beobachtung des Wachstums (Zellenausdehnung und Zellentheilung) mikroskopischer Objecte bei möglichst constanten Temperaturen, so begegnet man den bis jetzt nicht überwundenen Schwierigkeiten der Cultur. Sowohl die Süsswasseralgen (Spirogyren, Cladophoren etc.) als diejenigen des Meeres zeigen eine so grosse Empfindlichkeit gegen Veränderungen ihres Mediums, dass es bis jetzt nicht gelungen ist, sie längere Zeit in normaler Vegetation zu erhalten, geschweige denn dasselbe Exemplar in einem geeigneten Apparat einige Tage oder

*) Wir theilen vollständig die Ansicht von Sachs, dass die bezeichnete Aufgabe ihrer Lösung nicht um einen Schritt näher gebracht wird, wenn man sich damit begnügt, die Zeiträume zwischen Aussaat und Reife einer Pflanze bei gegebenen Mitteltemperaturen zu verzeichnen und die so erhaltenen Daten nach irgend einer willkürlich gewählten Formel in Rechnung zu bringen.

Wochen bei 10°, dann bei 15°, dann bei 20° u. s. w. zu beobachten, wie es doch zur Erreichung des beabsichtigten Zweckes nothwendig wäre. Die fraglichen Processe lassen sich also nicht verfolgen. Was bis jetzt in dieser Richtung geschehen ist und geschehen konnte, beschränkt sich auf Beobachtungen über die Geschwindigkeit der Zellsaftbewegungen bei *Nitella*, *Vallisneria*, in den Staubfadenhaaren von *Tradescantia* etc., — Erscheinungen, die zwar mit der Lebensthätigkeit im Allgemeinen in einem unverkennbaren Zusammenhang stehen, ohne jedoch einen Maassstab für bestimmte Processe darzubieten. *)

Bei Untersuchungen über die Abhängigkeit des Wachstums von der Temperatur bei höhern Pflanzen kann das Mikroskop zur Unterscheidung der Zellenbildung von der Zellenstreckung Anwendung finden, in der Art, dass man Zahl und Länge der Zellen für die verschiedenen Regionen nach mittlern Werthen bestimmt. Eine nähere Darlegung dieses Verfahrens ist überflüssig.

Weniger umständlich, als die Beobachtung der Vegetationsvorgänge bei constanter Temperatur, ist die Erforschung der Veränderungen, welche grössere Temperaturunterschiede, auf deren genaue Kenntniss es nicht ankommt, hervorrufen. So bedarf es z. B. keiner besondern Vorrichtungen, um die winterliche Färbung und die dabei eintretenden Veränderungen des Zellinhaltes zu studiren, und auch der Nachweis, dass wirklich die niedere Temperatur diese Veränderungen bewirkt, kann leicht geführt werden, indem man zeigt, dass eine entsprechende Temperaturerhöhung den normalen Zustand wiederherstellt. **)

V.

Elektricität.

1. Die wahre Pflanzenelektricität.

Die Frage, ob es eine wahre Pflanzenelektricität gebe, musste sich dem 457 Physiologen von selbst aufdrängen, nachdem durch du Bois-Reymond das Vorhandensein elektrischer Ströme, die in gesetzmässigem Verlaufe kreisen, für thierische Organismen nachgewiesen war. Denn wenn im

*) Die Geschwindigkeit der Plasmaströme steigt durchgehends bis zu einer Temperatur von 37—40° C., nimmt sodann bei steigender Temperatur wieder ab oder wird auch plötzlich Null. Vgl. Nägeli, Beiträge II, p. 77; Max Schultze, Das Proto-plasma der Rhizopoden etc., p. 46; J. Sachs, Experimentalphysiologie der Pflanzen, p. 71.

**) Vgl. Kraus, Einige Beobachtungen über die winterliche Färbung immergrüner Gewächse, Sitzgsber. d. phys.-med. Soc. zu Erlangen, 49. Dec. 1871 und 41. März 1872.

Thierreiche die Vorgänge des Stoffwechsels und die Schwankungen der Lebensthätigkeit mit entsprechenden Veränderungen der elektrischen Kräfte untrennbar verknüpft sind, so lässt sich eine ähnliche Beziehung auch für das Pflanzenreich zum Voraus erwarten. Die ersten Forscher, welche diesem Gegenstande ihre Aufmerksamkeit zuwandten, gelangten indessen zu einem rein negativen Resultat; sie beobachteten allerdings Ströme, aber nur solche, welche mit dem Vegetationsprocess unmittelbar in keinem Zusammenhange standen, sondern offenbar bloss von dem Gegensatze herrührten, in welchem das stromleitende Wasser zu den ungleichartigen Pflanzensäften stand, mit denen die Elektroden in Berührung kamen.*) Es waren also bloss »falsche Ströme«, wie sie beispielsweise auch beim Menschen zwischen einer Wunde und einem beliebigen Punct an der Aussenfläche der unverletzten Oberhaut zu Stande kommen.

Den »wahren Pflanzenstrom« glaubt in neuester Zeit J. Ranke**) entdeckt zu haben, welcher denselben im Wesentlichen folgendermaassen characterisirt. Der Strom ist constant und in dem leitenden Bogen, welcher einen beliebigen Punct des Querschnittes mit einem Punct des Längsschnittes verbindet, ohne Ausnahme vom Querschnitt zum Längsschnitt, d. h. umgekehrt wie der falsche Strom und umgekehrt wie der Muskel- und Nervenstrom gerichtet. Es ist diess der wahre Pflanzenstrom, der Ausdruck der wahren Pflanzenelectricität. Derselbe entspricht dem starken Strom du Bois-Reymond's zwischen Längsschnitt und Querschnitt an Muskeln und Nerven und kann daher durch die analoge Bezeichnung »starker Pflanzenstrom« unterschieden werden. In gleicher Weise haben auch die schwachen Ströme du Bois-Reymond's, wie sie z. B. zwischen zwei unsymmetrisch zur Axe gelegenen Puncten der Querschnittsfläche sich zeigen, in den Pflanzengeweben ihre Analoga, und die Richtung dieser schwachen Pflanzenströme ist ebenso, wie die der starken, den entsprechenden Stromrichtungen bei Muskeln und Nerven entgegengesetzt. Dasselbe gilt auch für die sogenannten Neigungsströme.

Wir glaubten diese Thatsachen hier erwähnen zu sollen, weil voraussichtlich auch in der Mikrophysik sich Gelegenheit bieten wird, dieselben zu prüfen. Bezüglich der Einzelheiten dieser Strömungsvorgänge, sowie in Betreff der Vorsichtsmaassregeln, welche bei den einschlägigen Beobachtungen zu treffen sind, verweisen wir auf die citirte Schrift Ranke's und auf die einschlägige Specialliteratur.

*) Vgl. Buff, in Ann. d. Chemie u. Pharm. Bd. 89 (1854); ferner Heidenhain, Studien des physiol. Instit. zu Breslau, Heft I, 1861.

**) Unters. über Pflanzenelectricität, in Sitzgsber. d. k. bayer. Akad. d. Wiss. (6. Juli 1872).

2. Die Wirkungen der Elektricität auf den Zellinhalt.

Die Wirkungen der Elektricität auf den Zellinhalt haben in den letzten 458 Jahren, besonders mit Rücksicht auf die Plasmabewegungen, eine vielseitige Beachtung gefunden, und es lässt sich voraussehen, dass sie in Zukunft einen wichtigen Abschnitt der Experimentalphysiologie bilden werden. *) Sind auch die Folgerungen, die man aus den bis jetzt beobachteten That- sachen gezogen hat, zum Theil mindestens gewagt, ja nach unserem Dafür- halten gänzlich ungerechtfertigt, so zweifeln wir desshalb doch nicht, dass das fortgesetzte Studium des Einflusses, welchen galvanische Ströme auf die Plasmabewegungen und auf das Zellenleben überhaupt ausüben, manche wichtigen Aufschlüsse über die Natur der im Organismus wirksamen Kräfte bieten wird. Wir glauben daher die Vorrichtungen, deren sich neuere Forscher für mikroskopische Untersuchungen dieser Art bedient haben, hier speziell erwähnen zu sollen; allfällige Abweichungen der Construction, die dem bestimmten Zwecke, den man gerade im Auge hat, noch besser ent- sprechen, wird sich alsdann der Beobachter leicht selbst ausdenken.

Was zunächst die Elektricitätsquelle betrifft, so ist eine kleine Rota- tionsmaschine oder ein Inductionsapparat, der von 1—2 kleinen Elementen getrieben wird, in der Regel vollkommen ausreichend. Derselbe soll indess nicht bloss eine beliebige Abschwächung der Stromstärke gestatten, son- dern auch mit einer Vorrichtung versehen sein, welche den durch Oeffnen und Schliessen des Hauptstroms erzeugten Inductionsströmen die nämliche Richtung giebt. Wie diess zu erreichen ist, darf wohl als bekannt voraus- gesetzt werden, da hierüber jedes physikalische Lehrbuch hinlängliche Auskunft giebt.

Um nun zweitens den elektrischen Strom durch ein unter dem Mikro- 459 skop befindliches Object zu leiten, so hat man zu diesem Behufe verschiedene Einrichtungen vorgeschlagen, von denen wir folgende hervorheben. Har- ting (Mikr. p. 428) empfiehlt einen Objectträger, wie er in Fig. 228 abge- bildet ist. Die Herstellung desselben ist ungemein einfach. Zwei Stanniol- streifen *A* und *B*, die etwas schmaler sind als die Glasplatte *abcd*, werden mit Stärkekleister so auf dieselbe geklebt, dass ein Theil des Stanniols an

*) Neuere Beobachtungen über den Gegenstand findet man in folgenden Schriften und Abhandlungen:

Th. Jürgensen (Studien des physiologischen Instituts zu Breslau 1861, II).

F. Cohn: Contractile Gewebe im Pflanzenreiche (Jahresber. d. Schles. Gesellsch. f. vaterl. Cultur 1861, I).

Brücke: Das Verhalten der sogenannten Protoplasmaströme u. s. w. (Sitzungsber. der kais. Akad. d. Wiss. Wien 1862. Bd. 46, 2. Abth.).

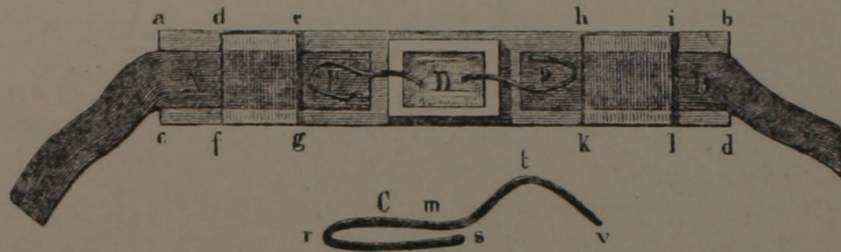
Heidenhain (Studien des physiol. Instit. zu Breslau 1863, II).

Max Schultze: Das Protoplasma der Rhizopoden u. s. w. 1863.

W. Kühne: Unters. über das Protoplasma u. die Contractilität. 1864.

Vgl. ferner G. Quincke: Ueber die Fortführung materieller Theilchen durch strö- mende Elektricität (Pogg. Ann. Bd. 113 [1864], p. 513).

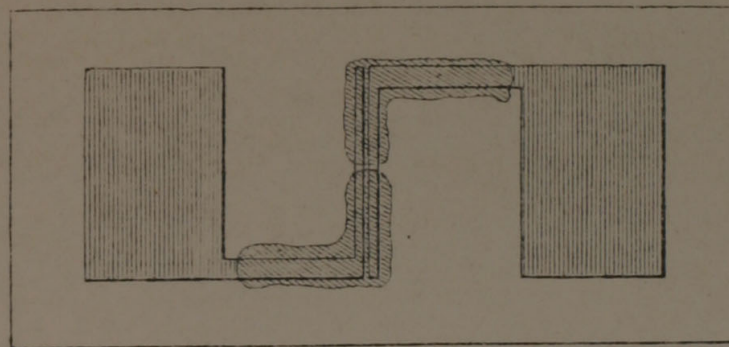
beiden Enden frei überragt und ein Raum von 25—30^{mm} dazwischen übrig bleibt. Zur Isolirung von der Klemmfeder des Objecttisches, welche das Ganze zu halten bestimmt ist, legt man sodann zwei Glasplättchen *defg* und *hikl* auf die betreffenden Stellen und befestigt dieselben mittelst einer Mischung von Pech und Harz oder auch mit Guttaperchaleim oder Seeleim. Die Poldrähre *p* und *p* bestehen aus geglühtem Kupferdraht oder noch



Figur 228.

besser aus Platindraht, der wie bei *C* gebogen und dann bloss aufgelegt, nicht befestigt wird. Der Theil *rms* kommt hierbei auf den Stanniol, der andere in einer senkrechten Ebene gebogene mit seiner Spitze *v* in die Beobachtungsflüssigkeit zu liegen. Nöthigenfalls bringt man das Object in einen kleinen Glas- oder Guttaperchatrog und taucht die Pole in das Wasser, womit derselbe gefüllt ist. Die frei herabhängenden Enden der Stanniolstreifen dienen zur Verbindung mit den Leitungsdrähten des galvanischen Apparates.

Kühne bediente sich bei seinen »Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität« eines Elektrodenpaares, wie es in Fig. 229 dargestellt ist. Zwei in der angedeuteten Art zugeschnittene Stücke von Platinblech wurden mittelst Siegellack auf die Glasplatte befestigt und hierauf



Figur 229.

die schmalen mittlern Streifen, auf welche das Object zu liegen kam, von beiden Seiten her bis auf ein kleines Stück von 1—2^{mm} Breite mit einem isolirenden Firniss überzogen, wozu sich z. B. eine Auflösung von Dammarharz in Chloroform ganz gut eignet. Die breiten Theile der Elektroden wurden beim Gebrauche mit kleinen, an der untern Fläche jedesmal

blank geriebenen Bleiklötzen beschwert und durch diese mit den Enden der secundären Rolle des Inductionsapparates verbunden.

Um die Verschiebbarkeit des Objectträgers so bequem als möglich zu machen, empfiehlt Kühn e, dünnen ausgeglühten Eisendraht, wie ihn die Chirurgen zum Nähen benutzen, an die Klötzchen zu schrauben. Solche Drähte folgen der Bewegung des Objectträgers, besonders wenn sie spiralg aufgerollt sind, so gut wie ein Faden.

Die Vorrichtung, deren wir uns bedienten, um die Wirkung des galvanischen Stromes auf Plasmabewegungen zu beobachten, bestand aus einem gewöhnlichen Objectträger mit Stanniolelektroden, die mittelst Stärkekleister aufgekittet und in der Mitte bis auf c. 2^{mm} genähert waren. Behufs Herstellung einer bequemen Verbindung mit den Leitungsdrähten des Inductionsapparates waren beiderseits kurze Messingdrähte, die an den Rändern etwas hervorragten und hier mit einem Haken endigten, auf die Stanniolstreifen gelegt und zur Erzielung eines guten Contactes zwei bis drei andere Stanniolplättchen darüber geklebt; ausserdem waren die Drähte am Rande mit Siegelack auf dem Objectträger befestigt. Eine theilweise Isolirung der Elektroden durch einen Firnissüberzug war überflüssig, da der Strom auch ohne dieses Mittel sich stark genug erwies.

Da es in der Praxis gewöhnlich darauf ankommt, den Moment zu beob- 460
achten, in welchem die Schliessung des galvanischen Stromes stattfindet, so muss dafür gesorgt sein, dass irgendwo in der Leitung die Herstellung und Unterbrechung des Contactes leicht und sicher bewerkstelligt werden kann, während das Auge ins Mikroskop sieht. Kühn e ersetzte zu diesem Behufe den rasch arbeitenden Hammer des Inductionsapparates durch ein eingeschaltetes Quecksilbernäpfchen, in welches er nach Belieben mit der Hand den mit einem Haken versehenen Leitungsdraht der Kette eintauchte. Dieses Verfahren ist gewiss ganz zweckmässig; wir haben aber nicht nöthig zu bemerken, dass man den nämlichen Zweck auch durch directes Andrücken des Leitungsdrahtes an die vorstehenden Schraubenköpfe der Inductionsspirale oder auch an den entsprechenden Pol der Kette in völlig befriedigender Weise erreicht.

Ueber die Art der Einwirkung galvanischer Ströme auf das Plasma und 461
die verschiedenen Grade derselben theilen wir nachstehend einige Einzelheiten mit, welche der Darstellung Brücke's*) nach Beobachtungen an den Brennhaaren der Nessel (*Urtica urens*) entnommen sind.

»Die erste Veränderung, die man (nach einer kurzen Reihe von Inductionsschlägen) wahrnimmt, besteht in der Regel in dem Erscheinen einer grössern oder geringern Menge von Fäden, welche vom Zellenleibe aus (d. h. vom wandständigen Plasma) in die Intercellularflüssigkeit hineinragen. Ich habe sie nicht immer, aber doch bei weitem in der Mehrzahl

*) Sitzungsber. d. k. k. Akad. der Wiss. in Wien, Bd. 46, 2. Abth., p. 35.

der Fälle gesehen, und da sie von wechselnder Dicke, oft äusserst dünn sind, so mögen sie sich wohl das eine oder das andere Mal der Beobachtung entzogen haben. Manchmal sieht man sie wie Raketen aus dem Zellenleibe hervorschiessen, sobald man den Kreis des Magnetelektromotors schliesst. Sie haben oft eine beträchtliche Länge; ich habe deren solche beobachtet, die im gestreckten Zustande bis zur Axe in das Innere des Haares hineinragten. An ihrem Ende tragen sie eine grössere oder kleinere Anschwellung, und man sieht sie in einer fortwährenden, bald schwächeren bald stärkern, zitternden oder schlängelnden Bewegung begriffen. Bisweilen sieht man neben den Fäden auch stärkere kolben- oder keulenartige Gebilde hervortreten.

»Hatte die Einwirkung der Ströme einen gewissen Grad nicht überstiegen, so kann hiebei das Fliessen der körnerreichen Flüssigkeit im Zellenleibe noch eine Weile fortdauern, ja es kommt häufig vor, dass die Fäden und Kolben wieder verschwinden und der normale Zustand, soweit die Anschauung darüber Aufschluss gibt, wieder hergestellt ist.

»War die Einwirkung heftiger oder schliesst man den Kreis des Magnetelektromotors von neuem, so hört das Fliessen sofort auf und man sieht die Körnchen nur noch in einer unregelmässigen Bewegung, die ganz den Charakter der unter dem Namen der Molecularbewegung bekannten Erscheinung trägt.«

Weiter wird angegeben, dass in der bisher vollständig reinen und klaren Zellflüssigkeit Körnchen erscheinen, die zu kleinen Gruppen vereinigt Molecularbewegung zeigen, dass aber später auch diese Bewegung aufhöre, worauf der Zellenleib sich von der Wandung abzulösen und zu schrumpfen pflege.

Die Beobachtungen, die wir selbst an den Staubfädenhaaren von *Tradescantia* anstellten, ergaben etwas weniger auffallende Resultate. Dieselben stimmen übrigens mit den hierauf bezüglichen Angaben von Kühne überein. Die Wirkung des galvanischen Stromes beschränkt sich hier auf kugelige oder papillenförmige Auftreibungen der Plasmabänder, verbunden mit einer raschen Coagulation des Zellkerns und der Plasmasubstanz, und die erste Veränderung, die man beobachtet, ist das Aufhören der Körnchenbewegung. Ebenso tritt auch in den Rotationsströmen der Charen und Vallisnerien beim Schliessen der Kette augenblicklicher Stillstand ein, ohne das zunächst irgend welche Veränderung im Inhalte bemerkbar wäre. Eine vorhergehende Verlangsamung der Bewegung, wie sie Jürgensen für *Vallisneria* beschreibt, haben wir nicht beobachtet; doch mag diess wohl in der mangelhaften Einrichtung zur Normirung des Stromes seinen Grund haben.

Sämmtliche Beobachter stimmen darin überein, dass eine Verschiedenheit der Wirkung eines constanten Stromes auf gleich gerichtete oder gegenläufige Plasmaströme nicht zu constatiren ist. Eine Umkehrung der Ströme,

wie man sie vielleicht erwarten möchte, findet also auf keinen Fall statt. Dasselbe gilt von inducirten Strömen mit gleich gerichteten Inductionsschlägen. Die Veränderungen, welche die elektrischen Eingriffe hervorrufen, stimmen überhaupt, soweit die bisherigen Beobachtungen reichen, im Wesentlichen mit denjenigen überein, welche durch mechanische oder chemische Mittel, durch Wärme oder Kälte veranlasst werden. Es gehört immer ein gewisser Grad der Einwirkung dazu, um einen vorübergehenden Starrezustand, und eine etwas stärkere Einwirkung, um den Tod der Zelle herbeizuführen.

Neunter Abschnitt.

M i k r o c h e m i e.

462 Obschon die mikrochemische Untersuchung bloss in der Anwendung bekannter chemischer Verfahren auf mikroskopische Objecte besteht, so sind doch in manchen Fällen besondere Vorsichtsmaassregeln und Manipulationen erforderlich, die der Anfänger im Mikroskopiren erst lernen muss. Hiezu die nöthige Anleitung zu geben, ist der erste, nächstliegende Zweck, den die folgenden Blätter erfüllen sollen.

Dazu kommt aber noch, dass manche schätzenswerthe Mittheilungen über chemische Reactionen und Prüfungsmethoden, darunter solche, die sich gerade auf die wichtigsten Producte des Lebensprocesses beziehen, in der Literatur zerstreut und daher weniger zugänglich sind. Diese Mittheilungen zu sammeln und zu sichten, soweit thunlich zu prüfen und hie und da auch zu vervollständigen, — das war eine weitere, wesentliche Aufgabe, die wir uns für diesen Abschnitt gestellt hatten.

I.

Allgemeine Regeln.

463 Es ist zunächst von Wichtigkeit, ein bestimmtes Reagens in allmählig steigender Concentration anwenden zu können, um die Wirkung desselben Stufe für Stufe zu verfolgen. Man erreicht nun zwar diesen Zweck annähernd schon durch einfachen Zusatz der Flüssigkeit am Rande des Deckgläschens, indem alsdann die Vermischung mit dem Präparatwasser, wenigstens in einiger Entfernung vom Rande, nur durch Diffusion und daher sehr langsam geschieht; allein die so erzielten Uebergänge der Einwirkung sind gleichwohl nicht immer so stetig, wie es wünschenswerth wäre, und da gerade hievon nicht selten die Zuverlässigkeit der Beobachtungen abhängt, so ist es unter Umständen wichtig, auch feinere Verfahren zu kennen, welche die Langsamkeit der Einwirkung noch zu steigern gestatten. Als solche sind zu empfehlen:

1) Man bringt unter das Deckgläschen einen feinen baumwollenen oder leinenen Faden, dessen eines Ende unter dem Rande desselben hervorsteht, und tränkt nun dieses hervorstehende Ende mit einem Tropfen des Reagens. Das letztere fliesst alsdann durch den Faden unter das Deckgläschen und mischt sich dort mit der Beobachtungsflüssigkeit.

2) Steht das Reagens auch im ungelösten Zustande zu Gebote, so werden kleine Splitter desselben direct in die Beobachtungsflüssigkeit gelegt. Die gelösten Theile verbreiten sich alsdann ganz allmählig in der Umgebung der Splitter. Für die Iodreaction ist dieses Verfahren sehr zu empfehlen.

3) Ein Tropfen der sehr verdünnten Lösung, die an den darin vertheilten Objecten noch keine Veränderung hervorruft, wird auf dem Objectträger (ohne Deckgläschen) der Verdunstung überlassen. Da die letztere am Rande des Tropfens schon der Krümmung der Oberfläche wegen am raschesten erfolgt, d. h. für die Einheit der Grundfläche am grössten ist, so steigt hier auch die Concentration rascher als in der Mitte. *) Dieses Verhalten macht es möglich, dieselbe Veränderung wiederholt auf dem nämlichen Präparat zu beobachten und die verschiedenen Stadien der Einwirkung sowohl nach einander in beliebiger Langsamkeit, als neben einander in den schönsten Uebergängen hervorzurufen. — Selbstverständlich ist jedoch eine solche Steigerung der Concentration nur denkbar, wenn in einer leichter verdunstenden Flüssigkeit eine schwerer verdunstende oder fixe Substanz gelöst ist, was übrigens der gewöhnliche Fall ist.

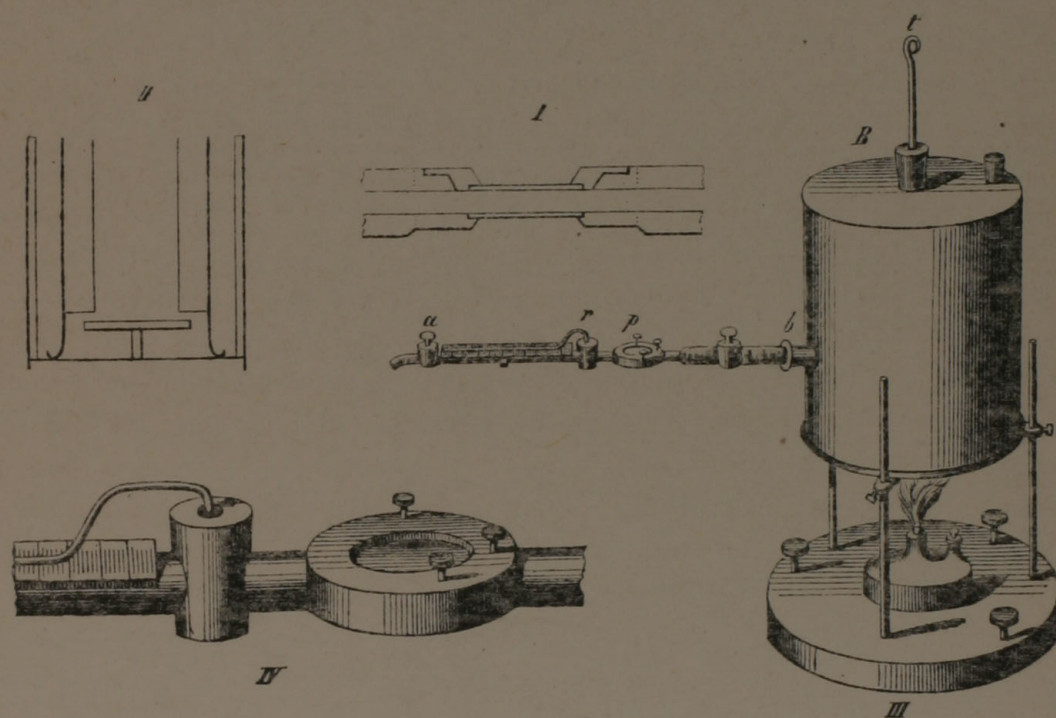
Ein zweiter Punct betrifft die Herstellung eines mehr oder weniger **464** raschen Stromes in der Beobachtungsflüssigkeit, wie er z. B. beim Auswaschen der Präparate ohne Wegnahme des Deckgläschens nothwendig ist. Bei dickern Objecten, die einen beträchtlichen Abstand zwischen Objectträger und Deckplättchen bedingen, erreicht man den beabsichtigten Zweck einfach durch Neigung der Objectplatte und Zusatz von Flüssigkeit an dem nach oben gekehrten Rande des Deckgläschens, indem hiebei eine entsprechende Menge am untern Rande abfliesst. Bei kleinen Objecten und geringem Abstand der Glastafeln, wo die grössere Reibung durch die Schwere des Wassers nur langsam überwunden wird, zieht man die Beobachtungsflüssigkeit am besten mit Fliesspapier aus, das man an einem Rande des Deckgläschens mit derselben in Berührung bringt, während man auf der andern Seite das betreffende Reagens oder das Auswaschwasser zusetzt.

Handelt es sich darum, einen langsamen Strom von Wasser längere Zeit zu unterhalten, so vermittelt man die Zufuhr durch einen Baumwollenfaden, welcher einerseits mit der Beobachtungsflüssigkeit und andererseits mit einer grössern Wassermenge in Verbindung steht, deren Oberfläche jedoch im Niveau des Objectes oder höher liegen muss. Ein zweiter Baumwollenfaden wird zum Behuf eines raschern Wechsels an den andern

*) Vgl. pag. 375.

Rand des Deckgläschens gebracht und dessen herabhängendes Ende so gewählt, dass die durch ihn bewirkte Verdunstung der Zufuhr ungefähr das Gleichgewicht hält und so ein Ueberfließen des Wassers auf den Objecttisch verhindert. Auf diese Weise wird es möglich, Algenfäden, die unter dem Mikroskop liegen, längere Zeit lebend zu erhalten und ihre Entwicklung zu verfolgen.

- 465 Will man die Einwirkung einer höhern Temperatur auf die Objecte untersuchen, so genügt in der Regel das directe Erwärmen des Objectträgers über der (neben dem Mikroskop aufgestellten) Weingeistlampe. Man lässt die Flamme, je nachdem man eine gleichmässige Erwärmung oder aber eine stetige Abnahme der Einwirkung von einer Stelle des Präparats zur andern beabsichtigt, über die ganze Fläche oder nur auf den Rand desselben spielen, so dass in diesem letztern Falle der gegenüber liegende Rand die geringste Einwirkung erfährt. Die Wärmequelle unter dem Objecttisch anzubringen, wie diess Harting u. A. empfehlen, finden wir im Allgemeinen weniger rathsam und überhaupt nur in seltenen Fällen wünschenswerth; denn abgesehen davon, dass man bei Anwendung von Reagentien, deren Dämpfe das Flintglas angreifen, das Objectiv durch eine



Figur 230.

besondere, unten mit einer Glasplatte versehene Hülse oder doch mindestens durch ein grosses Deckplättchen schützen muss, ist damit für die Beobachtung gewöhnlich nicht viel gewonnen, da die in der Flüssigkeit stattfindenden Strömungen eine ununterbrochene Bewegung der Objecte verursachen.

Dagegen kann es für gewisse Untersuchungen von Wichtigkeit sein,

das Präparat längere Zeit in einer constanten Temperatur über oder unter Null zu erhalten, was sich je nach den speziellen Anforderungen, die man stellt, in verschiedener Weise ausführen lässt. Soll die Temperatur, der das Object ausgesetzt ist, möglichst genau bekannt sein, so dürfte ein Apparat, wie er in Fig. 230, III dargestellt ist, sich besonders empfehlen. Nägeli benutzte denselben, um die Geschwindigkeit der Saftströmung in den Zellen der Charen bei verschiedenen Temperaturen zu beobachten. Das Object wurde in der Mitte der Röhre *ab* in einer scheibenförmigen Erweiterung *p*, die nach oben und unten durch parallele Glasplatten abgeschlossen war, befestigt und das Mikroskop (nöthigenfalls mit einem Untersatz versehen) darauf eingestellt. Durch die Röhre wurde ein langsamer, durch den Hahn bei *a* beliebig zu regelnder Strom von Wasser geführt, das im Behälter *B* nach Belieben erwärmt oder durch eingelegtes Eis unter die Zimmertemperatur abgekühlt werden konnte. Zur Bestimmung der Temperatur dienten zwei Thermometer, wovon das eine (*t*) im Behälter bis zur Oeffnung der Ausflussröhre eingesenkt, das andere am Ende der Röhre horizontal angebracht und mit seiner Kugel bei *r* in das Lumen derselben eingekittet war. Die Wärmedifferenzen, welche die beiden Thermometer anzeigten, waren übrigens nicht bedeutend; sie erreichten bei langsamer Strömung 1 Grad, bei etwas rascherer, je nach der Zimmertemperatur, $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Grad.*)

Will man kleinere Objecte, wie z. B. Diatomeen, Desmidiaceen u. dgl. beobachten, so können dieselben zwischen zwei Deckplättchen, die man mit Wachs befestigt, oder in einem verschlossenen Glastrog von geringer Tiefe in die Röhre gebracht werden.

Eine andere Vorrichtung, welche zwar viel einfacher und mit gerin- 466
gern Kosten herstellbar ist, dafür aber an Genauigkeit der eben beschriebenen nachsteht, wurde von Thomé (Bot. Ztg. 1865, p. 107) vorgeschlagen und durch eine Zeichnung veranschaulicht. Derselbe bedient sich eines erwärmbaren Objecttisches, welcher mit drei Metallspitzen auf dem Tisch des Mikroskopes ruht und beiderseits etwa 2 Zoll über denselben hervorragt. Zum Festhalten dienen gewöhnliche Federn, welche durch überein-

*) Für Diejenigen, welche vielleicht einen ähnlichen Apparat zu construiren beabsichtigen, fügen wir noch des Nähern bei, dass zum Einlegen des Eises ein hohlcylindrisches Gefäß (s. Fig. 230, II Durchschnittsansicht des Behälters) diene, welches mit einem entsprechenden Einschnitt zur Aufnahme der bis zum Centrum vordringenden Röhre versehen war. Ferner wurde eine möglichst gleichmässige Wärmevertheilung beim Erhitzen dadurch erzielt, dass etwa 1 Zoll über dem Boden des Wasserbehälters eine kreisförmige Scheibe angebracht war, welche die erwärmten Wassertheile zunächst nach der Peripherie hin leitete. Die Wand des Behälters war überdiess doppelt, um eine zu rasche Abkühlung zu vermeiden. — Das Gefäß, in welches das Object zu liegen kam (Fig. 230, III p, I, IV), konnte nach oben geöffnet und wieder wasserdicht verschlossen werden. Die obere Glasplatte war nämlich mit einer Fassung von Messing versehen, welche nach Art eines Deckels eingepasst und mittelst Schrauben zu befestigen war. Der Zwischenraum zwischen den beiden Glasplatten mochte etwas weniger als eine Linie betragen.

ander liegende Oeffnungen der beiden Tische gesteckt werden. Der auf der rechten Seite hervorragende Theil wird durch eine untergestellte Wein-geistlampe erhitzt; auf der linken Seite befindet sich ein Thermometer, dessen Kugel in einer aufgesetzten Metallhülse ruht.

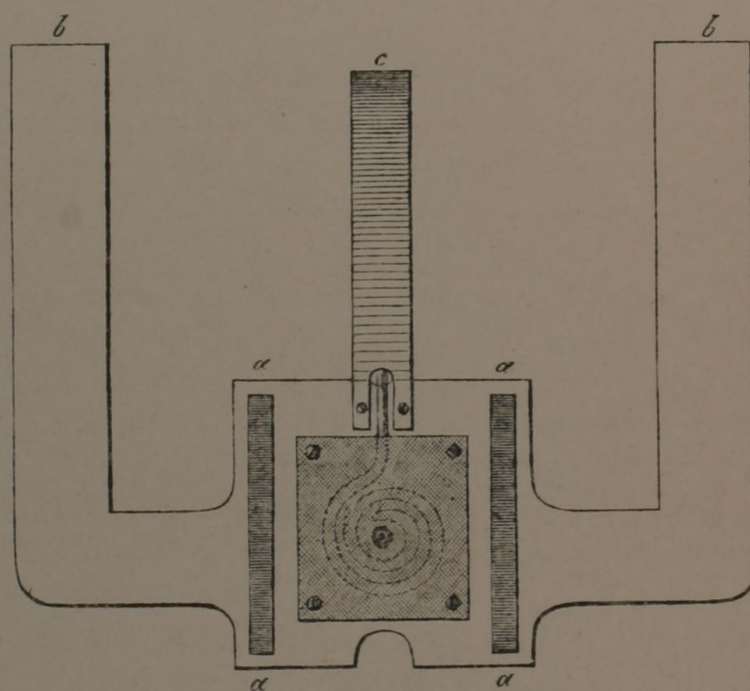
Vor der Anwendung des erwärmbaren Tisches wird durch vorläufige Versuche die wahre Wärme derjenigen Stelle bestimmt, auf welcher das Präparat liegt. Zu diesem Behufe legt man auf die Lichtöffnung einen Objectträger, misst dessen Wärme durch ein feines Thermometer und bestimmt durch öftere Versuche oder durch Interpolation ein für allemal die Differenzen beider Thermometer für verschiedene Wärmegrade. Näheres über die Art, wie das feine Thermometer anzubringen sei und wie genau dasselbe in irgend einem bestimmten Falle die wahre Temperatur des Präparats angebe, ist nicht mitgetheilt.

467 Weit zweckmässiger eingerichtet ist jedenfalls der auf demselben Princip beruhende heizbare Objecttisch von M. Schultze.*) Da derselbe in den meisten Fällen, so oft nämlich Fehler in der Temperaturbestimmung von c. 2° C. nicht in Betracht kommen, vollständig genügen dürfte, so geben wir nachstehend die ausführliche Beschreibung desselben, wie sie vom Erfinder a. a. O. mitgetheilt wurde.

»Der heizbare Objecttisch, welchen ich von dem Mechaniker Herrn Geissler hierselbst anfertigen liess, und welcher sich als ein sehr wichtiges Hülfsmittel bei vielen Untersuchungen bewährt hat, ist dazu bestimmt, auf den gewöhnlichen Objecttisch eines Mikroskopes aufgesetzt zu werden, den er etwa um 1 Centimeter erhöht (s. Fig. 234, wo derselbe von unten in $\frac{1}{3}$ natürlicher Grösse abgebildet ist). Derselbe besteht aus einer ungefähr hufeisenförmigen Messingplatte von 1—2^{mm} Dicke. Der mittlere Theil hat die Ausdehnung und Form eines recht grossen gewöhnlichen Objecttisches und verlängert sich nach beiden Seiten in 3 Centimeter breite Arme, welche nach kurzem Verlaufe im rechten Winkel nach vorn umbiegen und von da an noch eine Länge von 17—20^{cm} besitzen. Unter ihnen brennen behufs der Erwärmung des Objecttisches Spirituslampen. Die Länge der Arme ist so gewählt, dass bei Erhitzung ihrer Enden durch kleine Flammen die Mitte des Objecttisches ungefähr Körperwärme, also 35—40° C. annimmt. Diese Mitte ist von kleiner Blendungsöffnung durchbohrt, welche bei der Befestigung des heizbaren Objecttisches jedesmal genau zu centriren ist. An die untere Seite des Tisches sind seitlich zwei von vorn nach hinten laufende viereckig prismatische Holzleisten (*aa*) befestigt, mittelst deren er auf dem eigentlichen Objecttisch des Mikroskopes ruht und durch welche eine Mittheilung der Wärme an letztern, zugleich eine Berührung des in der Mitte unter dem Tisch angebrachten Thermometerkastens mit dem untern Objecttisch verhindert wird. Das Thermometer

*) M. Schultze, Archiv für mikroskopische Anatomie I (1865), 4. Heft.

besteht aus einem spiralgewundenen, die Blendungsöffnung umkreisenden Quecksilberbehälter von zwei vollständigen Spiraltouren, aus welchem sich die Thermometerröhre nach vorn erhebt, um an eine aus starkem Messing gearbeitete, durch Schrauben an den Tisch befestigte Scala (*c*) zu gelangen, deren vorderer Seite sie anliegt. Die Scala steht schief nach vorn und aufwärts, so dass der Stand des Quecksilbers während der mikroskopischen Beobachtungen leicht abgelesen werden kann, und ist in ganze Grade nach Celsius getheilt. Die Quecksilberspirale muss der untern Fläche des messingenen Tisches womöglich mit einer abgeplatteten Fläche genau anliegen, um deren Temperatur schnell aufzunehmen, und ist in einen niedrigen Kasten von Messingblech eingeschlossen, welcher eine Verletzung der-



Figur 231.

selben hindert, vor Abkühlung bewahrt, und indem er die Temperatur des Objecttisches annimmt, das Thermometer auch von unten her erwärmt. In die Mitte des Kästchens ist eine conisch ausgedrehte, innen geschwärzte Blende eingesetzt, etwa von den Dimensionen der Hartnack'schen Cylinderblendungen.«

Die Befestigung des heizbaren Tisches kann entweder durch Zapfen, welche in Vertiefungen des Objecttisches, natürlich unter Berücksichtigung der Centrirung, eingepasst sind, oder auch durch Klemmschrauben, wie sie Herr Geissler dem Apparat beigiebt, geschehen. Die Entfernung der Holzleisten *aa*, welche in dem abgebildeten Apparat c. 6^{cm} beträgt, richtet sich natürlich, weil dieselben dem Objecttisch aufliegen müssen, nach den Dimensionen des letztern.

Zur Vermeidung der Unbequemlichkeiten, welche die raschere Ver-

dunstung der Flüssigkeit bei erhöhter Temperatur mit sich bringt, bediente sich Schultze der von Recklinghausen *) empfohlenen feuchten Kammer. Dieselbe besteht aus dem abgesprengten untern Stück eines Lampencylinders, dessen glatt polirter Rand auf der (hinreichend gross zu wählenden) Objectplatte ruht, indess der obere engere Theil sich möglichst genau dem Tubus des Mikroskops anschliesst, ohne jedoch den auf- und absteigenden Bewegungen des letztern hinderlich zu sein. Ein Streifen feuchten Fliesspapiers, den er auf die innere Fläche des Lampencylinders aufklebte, lieferte den zur Feuchthaltung der Kammer nöthigen Wasserdunst.

Zur Prüfung der Frage, ob die an der Scala abgelesene Temperatur derjenigen des Objectes entspreche, empfiehlt sich die Beobachtung des Schmelzpunktes von Fetten, von denen man im flüssigen Zustande ein mikroskopisches Präparat anfertigt, nachdem man vorher den Schmelzpunkt auf andere Weise genau geprüft hat. Nach Schultze, welcher diese Prüfung mit einer Anzahl von Geissler gefertigter Apparate vornahm, gaben dieselben die gewünschte Temperatur bis auf c. 2° C. genau an.

Wir bemerken noch, dass Geissler bereits geprüfte Apparate vorrätig hält und zu 10 Thlr. abliefern.

- 468 Um bei der Anwendung von Lösungsmitteln nicht irre geführt zu werden, thut man am besten, das zu untersuchende Object möglichst zu isoliren. Es kommt nämlich öfters vor, dass Bildungen, die in ziemlich dickwandigen Zellen enthalten sind, sich äusserst langsam auflösen oder sogar unlöslich zu sein scheinen, während sie nach dem Zerreißen der Zellen, wenn das Reagens unmittelbar auf sie einwirkt, sogleich verschwinden. Wo ein Freipräpariren des Objectes nicht wohl möglich ist, bedarf es einer längern Einwirkung des Lösungsmittels, oft sogar einer wiederholten Erwärmung über der Weingeistflamme, um über die Löslichkeit oder Unlöslichkeit der Substanz ganz sicher zu sein.

II.

Aufzählung der Reagentien.

- 469 Wir gehen nun zur Aufzählung der Reagentien über, die man bei botanischen Untersuchungen zu verwenden pflegt, wobei wir zugleich die Wirkung derselben kurz andeuten und, wo es nöthig ist, auch über die Bereitung und die beim Gebrauche erforderliche Vorsicht einiges Nähere beifügen.

1) Aetzkali. Wird in verdünnter Lösung zunächst dazu verwendet,

*) Virchow's Archiv etc. Bd. XXVIII, 1863, p. 162.

die Gewebe durchsichtiger zu machen, wozu in manchen Fällen eine äusserst starke Verdünnung und kurze Dauer der Einwirkung, in andern eine etwas stärkere Concentration, verbunden mit Erwärmung, nothwendig ist. Welche Art der Behandlung am günstigsten wirkt, muss durch den Versuch ermittelt werden. Man setzt zuerst eine ganz schwache Lösung zu, dann eine stärkere u. s. f., erwärmt zuerst nur wenig, dann mehr, bis der gewünschte Effect eintritt. Gewisse Gewebe werden indess mit Kali niemals durchsichtig, sondern färben sich dunkel, oft tief rothbraun, so dass man zu andern Reagentien seine Zuflucht nehmen muss. Manche Gewebe werden nur auf eine kurze Zeit hell und nachher dunkel.

Das Kali verursacht eine mehr oder weniger starke Quellung der Zellmembranen und Stärkekörner, löst Fette (durch Verseifung), Proteinverbindungen etc. Vermöge dieser Eigenschaften dient es zur »Purification incrustirter Membranen«, wie z. B. des Korkes. Der letztere färbt sich nach längerem Erhitzen in Kali auf Zusatz von Iod und Schwefelsäure blau.

Die Aufbewahrung des Kali in gelöster Form bringt den Uebelstand mit sich, dass der Glaspfropfen, wenn er gut eingeschliffen ist, bei längerem Nichtgebrauch in Folge der Bildung eines Silicates fest mit der Flasche verwächst, der Korkpfropfen aber zerfressen wird, indess ein schlechter Verschluss die Aufnahme von Kohlensäure aus der Luft ermöglicht. Andererseits ist die Aufbewahrung des Kali in Pulver- oder Stäbchenform und die jedesmalige Bereitung der Lösung viel umständlicher und schon deswegen für die gewöhnlichen Fälle unpractisch. Wir haben bis jetzt der Lösung, trotz der erwähnten Nachtheile, immer den Vorzug gegeben.

2) Wässerige und weingeistige Iodlösung. Dient vorzugsweise zur bekannten Färbung des Zellinhaltes und der Zellmembranen. Da sich bei längerem Stehen unter dem Einfluss des Lichtes Iodwasserstoffsäure in der Lösung bildet, so verwendet man bei Untersuchungen, wo die Reinheit des Reagens wichtig ist, am besten metallisches Iod,^{*)} oder bereitet sich die Lösung unmittelbar vor dem Gebrauch. Manche Zellmembranen färben sich z. B. in alter Iodtinctur schön blau, während sie in frisch zubereiteter farblos bleiben. Man kann überhaupt ganz allgemein sagen, dass der Farbenton, den man bei der Iodreaction beobachtet, wesentlich von der Anwesenheit dritter Substanzen in der Beobachtungsflüssigkeit oder im Object abhängig ist.^{**)} Bei genauen Untersuchungen kann hienach sogar ein Auswaschen des Präparates nothwendig sein, wenn die reine Iodlösung zur Wirkung kommen soll.

3) Iod gelöst in einer Iodverbindung. Hieher gehören die

^{*)} Wenn es sich um sehr feine Reactionen handelt, so müssen die Iodkrystalle zuerst abgewaschen werden, um die der Oberfläche anhaftende Iodwasserstoffsäure zu entfernen.

^{**)} Zahlreiche Belege hiefür giebt Nägeli in den Sitzungsberichten der k. b. Akad. der Wiss. Vortrag v. 13. Dec. 1862.

Iodzink-Iodlösung, die Iodkalium-Iodlösung, Iodammoniak-Iodlösung etc. Alle diese Verbindungen verhalten sich im Wesentlichen gleich; sie bewirken dieselbe Blaufärbung der Cellulose, wie Iod in Verbindung mit Schwefelsäure oder Iodwasserstoffsäure. Eine besondere Vorschrift zur Bereitung dieser Reagentien ist im Grunde ziemlich überflüssig, da es ja bloss darauf ankommt, dass Iod in der betreffenden Iodverbindung gelöst sei; doch mag das Schulze'sche Recept zur Chlorzink-Iodlösung hier noch Platz finden: Man löse Zink in Salzsäure auf, dampfe die Lösung unter Berührung mit metallischem Zink bis zur Syrupdicke ab und löse darauf in diesem Syrup Iodkalium bis zur Sättigung. Alsdann wird Iod hinzugefügt und die Lösung, wenn es nöthig ist, mit Wasser verdünnt.

4) Concentrirte Schwefelsäure. Als Auflösungs- und Quellungsmittel der Zellmembranen vielfach angewendet. Mit etwas Wasser verdünnt eignet sie sich am besten zur Blaufärbung der Cellulose in Verbindung mit Iod. Die Färbung tritt am sichersten ein, wenn man das Präparat zuerst mit der Iodlösung betupft und dann die Säure zusetzt.

5) Kupferoxyd-Ammoniak. Wie die Schwefelsäure als Lösungs- und Quellungsmittel zu gebrauchen und für manche Zellmembranen (Baumwolle, Bastfasern etc.) vorzuziehen. Andere, wie z. B. die Membranen der Flechtenfasern, werden von diesem Reagens nicht angegriffen. Die Bereitung geschieht durch Auflösen frisch gefällten, noch feuchten Kupferoxyds in ätzender Ammoniakflüssigkeit.

6) Salpetersäure. Findet verschiedene Anwendung. Werden Holzzellen in starker Säure so lange gekocht, bis sie farblos werden, und dann mit concentrirter Schwefelsäure behandelt, so lassen sie die Structurverhältnisse der Membran: Schichten, Streifungen etc. sehr schön erkennen. — Stickstoffhaltige Substanzen, die mit Salpetersäure behandelt wurden, färben sich auf Zusatz von Ammoniak mehr oder weniger gelb; schon die Säure allein bewirkt einen gelblichen Ton.

Als Macerationsmittel wirkt die Salpetersäure ähnlich, wie die bekannte zuerst von Schulze empfohlene Mischung derselben mit chlorsaurem Kali. Querschnitte durch Tannenholz lassen sich schon nach kurzem Erhitzen (am besten in einer Kochröhre) in ihre einzelnen Zellen zerlegen; man hat zu diesem Ende nur nöthig, dieselben auf dem Objectträger mit dem Deckglas zu zerreiben. Da die Zellenstücke, die man auf diese Weise erhält, sich bequem drehen lassen, so ist diese Behandlung der Querschnitte bei manchen Untersuchungen sehr zweckmässig. Man verschafft sich den nöthigen Vorrath von Untersuchungsmaterial, indem man eine grössere Menge von Schnitten in einer Kochröhre erhitzt und dann in eine reichliche Quantität von Wasser ausgiesst, um einer weitem Veränderung vorzubeugen. — Das vollständige Schulze'sche Macerationsverfahren besteht in Folgendem: Man zerkleinert den Gegenstand, z. B. Holz, bis zur Dicke eines Schwefelhölzchens, bringt denselben in eine lange und mässig weite

Kochröhre, giebt dem Volumen nach eben so viel chlorsaures Kali hinzu und so viel Salpetersäure, dass Holz und Kali mindestens davon bedeckt werden. Man erwärmt jetzt über der Weingeistlampe, es tritt bald eine lebhafte Gasentwicklung ein, worauf man die Kochröhre von der Flamme entfernt, aber das oxydirende Gemisch noch $4\frac{1}{2}$ —3 Minuten einwirken lässt und darauf das Ganze in eine Schaaale mit Wasser schüttet. Man sammelt alsdann die noch ziemlich zusammenhängenden Stückchen, bringt sie abermals in eine Kochröhre und kocht sie wiederholt so lange mit Alcohol aus, als sich derselbe färbt, worauf man sie zuletzt noch einmal mit Wasser aufsieдет.

Sowohl das Erhitzen mit Salpetersäure allein, als mit chlorsaurem Kali und Salpetersäure, darf niemals in dem Zimmer stattfinden, wo die Mikroskope stehen, weil die sich entwickelnden sauren Dämpfe die Objective angreifen.

7) Salpetersaure Quecksilberlösung (Millon'sches Reagens). Färbt stickstoffhaltige Verbindungen bei längerer Einwirkung, oder noch besser nach gelindem Erwärmen, ziegelroth.

8) Kupfervitriol. In Verbindung mit Kali eines der besten Reagentien auf Traubenzucker und Dextrin, sowie auf Proteinverbindungen. Erwärmt man ein von Kupfervitriol durchtränktes Präparat mit Kali, so deutet ein rother Niederschlag in den Zellen auf Traubenzucker oder Dextrin und eine violette Färbung der Flüssigkeit auf eiweissartige Verbindungen.

9) Chromsäure. Ein Lösungsmittel für Cuticulargebilde. Die concentrirte Säure löst den Kork und die Exine der Pollenkörner vollständig auf. Von der Cuticula der Epidermis widersteht höchstens ein äusserst dünnes, vorwiegend aus Kieselerde bestehendes Häutchen (Pollender, Bot. Zeit. 1862, p. 385).

10) Eisenchlorid, oder ein beliebiges Eisenoxydsalz. Färbt Gerbstoff führende Zellen blauschwarz oder grün, je nachdem der Gerbstoff ein eisenbläuender oder ein eisengrünender ist. — Das Präparat wird in schwierigern Fällen direct in die Lösung gebracht und sogleich beobachtet, weil sonst das Wasser den Gerbstoff auszieht und überschüssiges Eisenchlorid den entstandenen Niederschlag wieder löst. — Statt eines Eisenoxydsalzes empfiehlt Sano das zweifach chromsaure Kali, welches mit den Gerbstoffen eine braune, im Reagens selbst unlösliche Masse bildet.

11) Glycerin. Als Aufbewahrungsmittel mikroskopischer Präparate, dann zum Ablösen des Primordialschlauches von der Membran (wozu übrigens Zuckerlösung, verdünnte Säuren etc. sich ebenso gut eignen) in Gebrauch. Das concentrirte Glycerin kann ferner angewendet werden, um quellungsfähige oder lösliche Substanzen zunächst trocken zu beobachten und dann die Wirkung einer allmählichen Verdünnung mit Wasser zu ver-

folgen. — In Verbindung mit verdünnten Säuren wirkt das Glycerin lösend auf die Proteinkristalloide.

12) Zuckertlösung. Färbt stickstoffhaltige Substanzen in Verbindung mit Schwefelsäure rosenroth. Man tränkt das Präparat erst mit Zuckertlösung und setzt hierauf ziemlich concentrirte Schwefelsäure hinzu (3 Theile englische Schwefelsäure und 1 Theil Wasser). Die Färbung tritt alsdann nach wenigen Minuten deutlich hervor.

13) Citronenöl oder ein anderes aetherisches Oel. Vermindert die Lichtbrechung und eignet sich daher zur Untersuchung starkbrechender Substanzen, wo sonst der Randschatten störend wirkt (z. B. bei Beobachtungen im polarisirten Licht), ferner zur Untersuchung von trockenen Objecten oder solchen, denen das Wasser durch Weingeist entzogen wurde. Das Oel durchdringt in diesem Falle die wasserfreie Substanz und hellt sie als stark brechendes Medium auf. In manchen Fällen leistet übrigens fettes Oel dieselben Dienste.

14) Karmin in Aetzammoniak. Wird zur Färbung des Protoplasma und des Zellkerns empfohlen. Ebenso essigsaures Cochenillenextract und in neuerer Zeit auch Anilinfarben.*)

15) Alcohol und Aether. Dienen zur Entfernung der darin löslichen Stoffe aus den zu untersuchenden Gegenständen. Der Alcohol ist überdiess ein Reagens auf fette Oele, indem derselbe das Zusammenfliessen kleiner Tröpfchen zu grössern bewirkt. In neuester Zeit wird der absolute Alcohol überdiess zur Erhärtung der Gewebe und zum Fixiren des Plasma-inhaltes angewendet. Man legt die betreffenden Objecte entweder sofort in absoluten oder auch zuerst in schwachen Alcohol und dann successive in concentrirtere Flüssigkeit. Saftige Gewebe erhalten auf diese Weise schon nach höchstens 8—10 Tagen eine Consistenz, welche die Anfertigung von Schnitten sehr erleichtert. Plasmafäden, Zellkerne u. dgl. sind deutlicher als im frischen Zustande.

16) Essigsäure. Wird bei Untersuchungen über Zelltheilungen u. dgl. oft mit Vortheil den vorher mit verdünnter Kalilösung behandelten Präparaten zugesetzt; da sie den Inhalt trübt und die Membranen hell lässt, so gewinnt dadurch die Zeichnung des Zellennetzes oft sehr an Deutlichkeit. Dieselben Dienste leisten übrigens auch verdünnte Mineralsäuren.

17) Osmiumsäure. Giebt an leicht oxydirbare Stoffe einen Theil ihres Sauerstoffes ab und wird in Folge dessen als schwarzer oder schwarzblauer Körper niedergeschlagen. So färben sich z. B. Oeltropfen auf Zusatz von Osmiumsäure (Ueberosmiumsäure) dunkel und können in manchen zweifelhaften Fällen an dieser Reaction erkannt werden.

18) Carbolsäure. Wird von Leitgeb als ein vortreffliches Mittel

*) Die Tinctiionsmethoden finden bei der mikroskopischen Untersuchung thierischer Gewebe eine ausgedehnte Anwendung. Für die Botanik ist der Werth derselben nach den bisherigen Erfahrungen jedenfalls nicht hoch anzuschlagen.

zur Aufhellung der Gewebe bei Lebermoosen empfohlen, denen vorher der Wassergehalt durch Alcohol entzogen worden. Die Carbolsäure wirkt hier ähnlich wie die aetherischen Oele (s. oben).

III.

Art des Vorkommens chemischer Verbindungen.

Ebenso wichtig als die Natur der chemischen Verbindungen ist bei 470 mikroskopischen Untersuchungen die Art ihres Vorkommens. Die pflanzlichen Gewebe bieten in diesem Betreff folgende Fälle: 1) organisirte Verbindungen, 2) krystallinische Bildungen, 3) Einlagerungen in organisirte Gebilde, 4) Stoffe, die in Wasser oder Oel gelöst sind, 5) Flüssigkeiten. Derselbe Stoff kann hier in dieser, dort in einer andern Gestalt auftreten, wie denn bekanntlich die Proteinverbindungen sowohl organisirt als gelöst oder in andere Gebilde eingelagert vorkommen, desgleichen der Kalk sowohl in Krystallform im Lumen der Zelle, als im eingelagerten Zustande in den Membranen u. s. w.

Solche Verhältnisse festzustellen und in jedem gegebenen Falle die Art des Vorkommens zu ermitteln, erfordert oftmals eine sorgfältige Untersuchung. Wie leicht man sich irren kann, beweist unter Anderem die in den ältern Lehrbüchern vertretene Ansicht über die Natur der morgensternartigen Kalkgebilde in den Zellen von *Ficus* etc., wonach jede Spitze als ein Krystall und zwar als ein spitzes Rhomboeder zu betrachten wäre. Die Beobachtung der Auflösungserscheinungen und des nach der Auflösung (in Salz- oder Salpetersäure) zurückbleibenden Cellulosegerüsts, in Verbindung mit den Erscheinungen, die das polarisirte Licht zeigt, lehrt jedoch, dass der Kalk nur als incrustirende Materie in den geschichteten Zacken dieses Gerüsts enthalten sein konnte. — Ein fernerer Beispiel liefern die violetten und rothen Krystalloide in den Beeren von *Solanum nigrum*. Auf den ersten Blick möchte man dieselben für krystallisirtes Anthocyan halten; die genauere Untersuchung lehrt aber, dass der Farbstoff in eine gallertartige, quellungsfähige Substanz, verbunden mit Plasma, eingelagert ist. Die vegetabilischen Farbstoffe scheinen überhaupt in krystallinischer Form nicht vorzukommen, sondern höchstens als Einlagerungen in Plasma gebilden. Diess dürfte auch bei jenen intensiv gefärbten Krystallkugeln der Fall sein, welche sich in den blauen Zellen der Blumenblätter ausscheiden, wenn der Primordialschlauch stark contrahirt wird.

Dass die Art des Vorkommens der verschiedenen Verbindungen ge- 471 wissermaassen von deren chemischer Zusammensetzung abhängig ist, in dem Sinne nämlich, dass verwandte Stoffe ein übereinstimmendes Ver-

halten zeigen, geht aus folgenden Beispielen hervor. Alle gummi- und celluloseartigen, ebenso die eiweissartigen Stoffe kommen in der Pflanze nur in Lösung und im organisirten Zustande vor. In letzterer Form treten sie ferner stets als Gemenge von wenigstens zwei verschiedenen Verbindungen auf, wovon die eine durch ein Lösungsmittel ausgezogen werden kann, während die andere sich noch nicht löst. Stärkekörner, Zellmembranen, Proteinkrystalloide, Plasmagebilde stimmen in dieser Beziehung überein. Das Chlorophyll und die chemisch verwandten Farbstoffe der Algen und Flechten (Phycocyan, rother Farbstoff der Florideen) kommen eingelagert in Plasmagebilden oder gelöst in aetherischen oder fetten Oelen, das Anthocyan oder Erythrophyll dagegen in wässriger Lösung und in Farbkrystalloiden, aber nicht in andern Plasmagebilden der lebenden Zelle vor. Andere Farbstoffe beobachtet man blos als Einlagerungen in Membranen.

IV.

Krystallographische Untersuchungen.

472 Als ein besonderer Theil der Mikrochemie ist in der Praxis die mikroskopische Bestimmung der Krystallformen zu betrachten, indem diese letztern in vielen Fällen die sichersten Anhaltspunkte bieten, die chemische Natur krystallisirter Substanzen zu erkennen. Es ist daher für den Mikroskopiker ein Bedürfniss, sich auch mit krystallographischen Untersuchungen einigermaassen vertraut zu machen, sowie es andererseits dem Krystallographen, wenn er sich mit künstlichen Krystallen beschäftigt, öfters von Nutzen sein könnte, das Mikroskop zu Rathe zu ziehen.

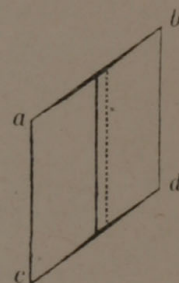
Die mikroskopische Unterscheidung der Krystallformen setzt übrigens nicht blos die Kenntniss der krystallographischen Systeme voraus; sie erfordert in der Regel auch besondere Manipulationen und Vorsichtsmaassregeln, die beim Sehen mit blossen Auge theils wegfallen, theils in anderer Weise zur Anwendung kommen. Schon die genaue Messung der Winkel ist in manchen Fällen eine sehr schwierige Aufgabe, da eine schwache Neigung der Fläche, deren Kantenwinkel man misst, oder eine etwas schiefe Stellung der Kante, wenn ein Flächenwinkel bestimmt werden soll, das Resultat der Messung leicht um 2—3 Grade verändert. Wir haben hierüber bereits oben, bei Gelegenheit der Goniometermessungen (s. p. 290), das Nähere mitgetheilt.

Selbstverständlich muss der Beobachter den Krystall successive so zu drehen suchen, dass die zur vollständigen Flächenbestimmung nöthigen Messungen, sei es an Kantenwinkeln oder Flächenwinkeln, mit möglichster

Genauigkeit vorgenommen werden können. Dass er dabei, je nach der Form des Krystalls, bald diese bald jene Combination von Winkeln zu wählen hat, ist ebenfalls einleuchtend. Haben die auf dem Objectträger liegenden Krystallindividuen eine verschiedene Lage und Ausbildung, so ist es rathsam, jede einzelne Winkelbestimmung an dem hierzu günstigsten Object auszuführen und die so gewonnenen Data zu combiniren. Eine vorläufige Orientirung über die vorkommenden Flächen durch Drehung eines bestimmten Krystalls ist immer unerlässlich, da ja sonst die richtige Deutung verschiedener Lagen nicht denkbar wäre.

Wie man aus bekannten krystallographischen Elementen die davon abhängigen unbekannten berechnet, findet man in jedem Lehrbuch der Krystallographie angegeben. Es wäre überflüssig, hier auseinander zu setzen, wie aus dem Säulenwinkel eines rhombischen Prismas das Verhältniss der makro- und brachydiagonalen Axe bestimmt wird, oder wie man aus den gegebenen Kantenwinkeln eines Rhomboeders den Neigungswinkel der Flächen berechnet u. dgl. Dagegen mögen einige Formeln Platz finden, welche ausschliesslich oder doch vorzugsweise bei mikroskopischen Beobachtungen Anwendung finden, indem sie zur Verwerthung von Winkeln dienen, die mit dem Reflexionsgoniometer nicht gemessen werden können.

Es seien erstens Rhomboeder oder klinorhombische Säulen mit schiefer Endfläche (Hendyoeder) zu bestimmen. Dieselben nehmen nicht selten eine solche Lage an (Fig. 232), dass zwei Flächen (ab und cd) genau senkrecht stehen, so dass die Neigung derselben zu den Seitenkanten direct gemessen werden kann. Ebenso leicht lassen sich solche Krystalle auf eine der beiden Flächen ab oder cd (bei Rhomboedern überhaupt auf eine Rhomboederfläche) wälzen, wodurch die ebenen Winkel derselben in gleicher Weise messbar werden. Diese beiden Messungen genügen, um den Winkel der in den Kanten ac und bd zusammenstossenden Flächen, den wir mit ξ bezeichnen wollen, zu berechnen. Ist nämlich $bac = \varphi$, ferner der ebene Winkel der Fläche ab , dessen Scheitel in a liegt $= \varrho$, dann erhält man für den Säulenwinkel ξ :



Figur 232.

$$\tan \frac{1}{2} \xi = \frac{\tan \frac{1}{2} \varrho}{\sin \varphi}.$$

Dass die nämliche Formel auch bei andern Krystallen, z. B. bei vorwiegend entwickelten Flächen, welche die Ecken einer geraden Säule abstumpfen etc., anwendbar ist, bedarf keiner Erörterung. Sobald überhaupt bei einer von drei Flächen gebildeten körperlichen Ecke zwei von den drei Grössen ξ , ϱ und φ (Kantenwinkel einer Fläche, Neigungswinkel gegen die Kante der beiden andern, und Flächenwinkel dieser beiden andern) gegeben sind, kann die dritte nach obiger Formel berechnet werden.

Ein zweiter Fall, welcher zu noch complicirtern Berechnungen Ver- 474

anlassung gibt, ist die vorwiegende Ausbildung von Flächen, welche mit keiner Axe des Krystalls parallel verlaufen, wie z. B. der Octaederflächen am Rhombenoctaeder. Indem solche Flächen mit andern zum Durchschnitt kommen, entstehen Kantenwinkel, welche selbst in den ausführlicheren krystallographischen Werken nicht angegeben sind und sich auch nicht so unmittelbar aus den gegebenen Daten ableiten lassen. Ihre Kenntniss ist aber in manchen Fällen unerlässlich, um über die Deutung eines gemessenen Winkels ins Klare zu kommen. Wir wollen die Aufgabe an einer bestimmten Krystallform, die dem rhombischen System angehören soll, zu veranschaulichen suchen.

Man denke sich ein mikroskopisches Rhombenoctaeder, an welchem die Abstumpungsflächen aller Kanten und Ecken, dazu die Flächen des zweifach stumpfern Octaeders ($0/2$) ausgebildet sind. Eine der letztern sei sammt der gegenüberliegenden tafelartig entwickelt, so dass die Durchschnittslinien mit den benachbarten Flächen die Umrisse der Tafel bilden, deren Winkel unter dem Mikroskop die einzig messbaren sein sollen. Die Untersuchung dieses Krystalls, so setzen wir ferner voraus, führe zu der Annahme, derselbe bestehe aus einer bestimmten chemischen Verbindung, deren Krystallform genau bekannt ist. Man wird sich alsdann die Frage zu stellen haben, ob die in den krystallographischen Werken mitgetheilten Angaben mit den mikroskopischen Messungen übereinstimmen, ob überhaupt die angenommene chemische Zusammensetzung und die derselben entsprechende Krystallform mit der tafelartigen Ausbildung einer bestimmten Fläche, wenn die resultirenden Winkel gegeben sind, vereinbar seien.

Die Beantwortung dieser Frage durch Rechnung wäre sehr umständlich; man gelangt viel rascher zum Ziel, wenn man die fragliche Krystallform nach Neumann'scher Methode projecirt und die tafelartig gedachte Fläche als Projectionsebene wählt. Man denke sich vom Mittelpunkt des Krystalls, dem Kreuzungspunct der Axen, Normale auf die einzelnen Krystallflächen gezogen und so weit verlängert, dass sie die Projectionsebene schneiden. Die Durchschnittspunkte bilden alsdann die Oerter der Krystallfläche in jener Ebene; sie stellen nicht bloss die krystallographischen Beziehungen und namentlich die Zonenverhältnisse höchst übersichtlich dar, sondern geben auch ein Mittel an die Hand, die Winkel zu bestimmen, welche die Durchschnittslinien der Krystallflächen mit der Projectionsebene unter sich bilden, d. h. die Winkel der tafelähnlich gedachten Krystallfläche. Verbindet man nämlich den Ort dieser letztern in der Projection mit den Oertern der übrigen Flächen durch gerade Linien und errichtet auf letztern Senkrechte, so stellen diese die Spuren der Krystallflächen auf der Projectionsebene und folglich die Ränder der Krystalltafel dar.

475 Als Beispiel eines solchen Verfahrens mag hier noch die Erläuterung einer nach bekannten Winkelgrössen ausgeführten Construction folgen. Es

sei an dem zweigliedrigen Krystall mit den oben bezeichneten Flächen gegeben:

Das Verhältniss der Axen

$$a : b : c = 0,57 : 1 : 0,75.$$

Die Neigung der

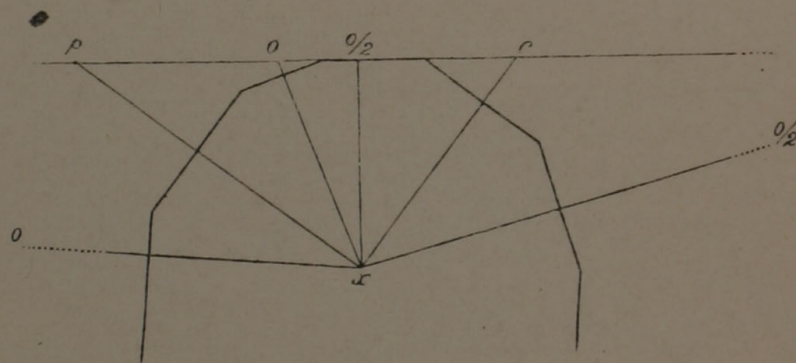
$$\text{Octaederfläche } (0) \text{ zur Säulenfläche } (p) = 146\frac{1}{3}^{\circ}$$

$$\text{Octaederfläche } (0) \text{ zur 2 fach stumpfern } \frac{0}{2} = 160\frac{1}{2}^{\circ}$$

$$\text{Octaederfläche } \frac{0}{2} \text{ zur Endfläche } c = 143^{\circ}$$

$$\text{Octaederfläche } \frac{0}{2} \text{ zur Abstumpfungsfäche der scharfen Säulen- kante } (b) = 107\frac{1}{3}^{\circ}.$$

Mit Hülfe dieser Daten und denjenigen, die man durch Addition und Subtraction daraus ableiten kann, lassen sich nun die Oerter der Krystallflächen auf der Projectionsebene AB (Fig. 233), die wir uns mit der Octaederfläche $\frac{0}{2}$ zusammenfallend oder parallel denken wollen, leicht construiren. Man wähle den Ort der Octaederfläche $\frac{0}{2}$ als Ausgangspunct und ziehe von dem beliebig gewählten Centrum x des Krystalls Linien, welche

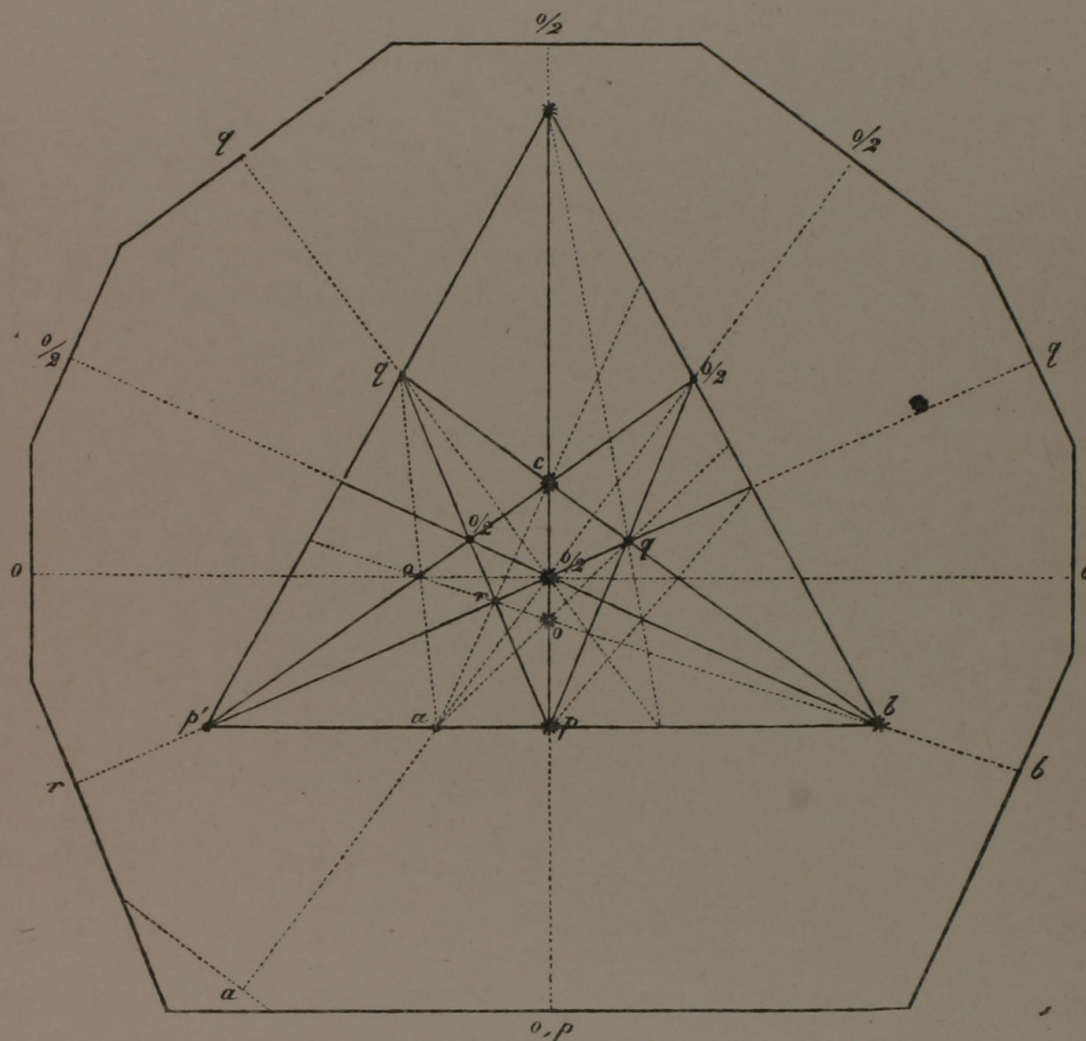


Figur 233.

die senkrecht zur Papierebene gedachten Krystallflächen rechtwinklig treffen und folglich mit der Richtung $x \frac{0}{2}$ Winkel bilden, welche die entsprechenden Neigungswinkel der Flächen zu 180° ergänzen. Die Entfernungen $\frac{0}{2}c$, $\frac{0}{2}o$ etc. werden alsdann, wie diess in Fig. 234 in verkleinertem Maassstabe geschehen, auf eine gerade Linie aufgetragen, deren Richtung auf der zugehörigen Zonenaxe rechtwinklig steht; desgleichen die Entfernungen $\frac{0}{2}b$, $\frac{0}{2}p'$ auf Linien, welche die diesen Flächenpaaren entsprechenden Kanten senkrecht treffen.

Die Construction dieser drei Linien setzt die Kenntniss der drei ebenen Winkel der Octaederfläche $\frac{0}{2}$ voraus, weil ja die drei Zonenaxen den drei Seiten des Dreiecks, das jene Fläche darstellt, parallel verlaufen. Diese Winkel müssen demnach gegeben oder vorerst aus dem Verhältniss der Axen $a : b : c$ berechnet werden. Die Oerter der übrigen Flächen ergeben sich dagegen unmittelbar aus den Zonenverhältnissen, die auch der weniger Kundige an Krystallmodellen leicht überblickt. In unserer Figur

sind nur die mit einem Sternchen bezeichneten Oerter construirt, alle übrigen abgeleitet. Die Abstumpfungsflächen q der scharfen Endkanten am Hauptoctaeder sind z. B. durch Linien bestimmt, welche von b durch c und von p' durch die beiden $\frac{0}{2}$ über und unter c gezogen werden; ihre Oerter entsprechen den Kreuzungspuncten dieser letzten zwei Linien mit der ersten. Ebenso erhält man die Oerter für $\frac{0}{2}$ rechts und links von der Mittellinie, indem man z. B. die beiden q mit p verbindet und die Verbin-



Figur 234.

dungslinien mit der Richtung $p'c$ sich kreuzen lässt. Dieses Verfahren wird fortgesetzt, bis alle Flächen des Krystalls bestimmt sind. Wer sich einigermaßen mit den Zonenverhältnissen vertraut gemacht hat, wird sich bald darin zurecht finden.

Unsere Figur giebt ausser den genannten Puncten noch die Abstumpfungsfläche a der stumpfen Säulenkante und das sogenannte dritte Paar r (die Abstumpfungsfläche der stumpfen Octaederkante); sie deutet überdiess durch punctirte Linien die mannigfachen Beziehungen der vorhandenen

Flächen zu einander und die Oerter anderer, nach unserer Annahme nicht ausgebildeter, aber möglicher Flächen an. *)

Bis hieher ist das ganze Verfahren nichts anderes, als die Anwendung der Neumann'schen Projection auf den Fall, dass alle drei Krystallaxen schief gestellt sind. Man hat jetzt nur noch nöthig, vom Puncte $\frac{o}{2}$, dem Ort der Projectionsfläche, Linien nach den übrigen Puncten ($q\ b\ p\ p'$ etc.) zu ziehen, in beliebiger Entfernung Senkrechte darauf zu errichten und dieselben zum Polygon zu verbinden. Das letztere hat alsdann genau die Form des eingebildeten tafelartigen Krystalls, indem die Seiten desselben, wie leicht einzusehen, den Durchschnitten der Krystallflächen mit der Projectionsebene parallel sind.

Will man zugleich den Verlauf der am Rande noch sichtbaren Kanten angeben, so kann diess einfach nach folgender Regel geschehen: Wenn zwei Flächen zusammenstossen, so steht die gebildete Kante senkrecht auf der Verbindungslinie ihrer Oerter. So ist z. B. die Kante, welche die Flächen a und p in unserer Figur am Rande bilden, parallel mit der Mittellinie, weil die Richtung $a\ p$ dieselbe rechtwinklig trifft. Ebenso steht die Kante zwischen o und a (links unten) senkrecht auf der Linie $a\ o\ q$ u. s. w.

In ähnlicher Weise lassen sich nun auch beliebige andere Krystall- 476 formen schematisch darstellen, vorausgesetzt, dass die erforderlichen Winkel bekannt sind. Solche Darstellungen gewähren immer, abgesehen von der im Vorhergehenden ins Auge gefassten Bedeutung, eine äusserst klare Uebersicht über die Zonenverhältnisse, welche die richtige Deutung der Flächen und Kanten oft wesentlich erleichtert.

Die Bestimmung der Krystallformen unter dem Mikroskop ist übrigens bei alledem, wie sich Jeder bald überzeugen wird, mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Die möglichen Fehler beim Messen der Winkel lassen es in manchen Fällen unentschieden, ob ein Krystall zum hexagonalen oder rhombischen, zum rhomboedrigen oder monoklinischen System gehöre. Ja es kann vorkommen, dass Krystalltafeln, welche dem ein- und eingliedrigen (triklinoedrigen) System angehören, täuschend ähnlich aussehen wie rectanguläre, indem die schiefen Winkel der ausgebildeten Flächen zuweilen nur um 1° von rechten differiren. Als ein Beispiel dieser Art sei hier das zweifach chromsaure Kali erwähnt, das auf dem Objectträger meist in achteckigen Tafeln mit nahezu gleichen Winkeln (bei gleichen oder ungleichen Seiten) krystallisirt.

In solchen Fällen ist die Untersuchung im polarisirten Licht von Wichtigkeit, da die Farbenerscheinungen beim Drehen der Krystalle um eine

*) Die Zonenlehre ist wohl in den meisten bessern krystallographischen Werken, wenigstens in den Grundzügen, mitgetheilt. Sehr empfehlenswerth finden wir unter den kleinern Werken Rammelsberg, Lehrbuch der Krystallkunde; nur ist die dort angewandte Projectionsmethode eine andere, nämlich die Quenstedt'sche Linearprojection, welche im Gegensatz zu der hier angewandten die Flächen durch Linien und die Zonen durch Puncte darstellt.

senkrechte Axe und beim Neigen derselben nach verschiedenen Seiten gegen die Mikroskopaxe über die Lage und relative Grösse der optischen Axen Aufschluss geben. An den Tafeln des zweifach chromsauren Kali sieht man z. B. sogleich, dass sich die Farbe beim Neigen nach rechts und links ungleich verändert, dass folglich keine der drei Axen senkrecht steht, wie es bei Tafeln des rectangulären Systems der Fall sein müsste. Ebenso leicht sind rhombische Tafeln mit abgestumpften Ecken von regulär-hexagonalen zu unterscheiden, indem die erstern beim Drehen ihre Farbe verändern, letztere nicht.

477 Noch müssen wir hier zwei Methoden der Krystallbestimmung erwähnen, welche neuerdings von Zenger und von Wertheim angewendet und beschrieben wurden. Zenger*) suchte die Fehlerquellen, welche mit der directen Winkelmessung verbunden sind, dadurch zu umgehen, dass er statt der Winkel die Diagonalen oder Kantenlängen der Flächen bestimmte und hieraus die Winkelgrössen trigonometrisch berechnete. Er bediente sich dabei eines grossen Plössl'schen Mikroskops mit Schraubenmikrometer und erzielte bei 60—130facher Vergrösserung, den mitgetheilten Controlmessungen zufolge, eine Genauigkeit, die in der That wenig zu wünschen übrig lässt. Die Bestimmungen wurden an rhomboedrigen Metallen (Tellur, Arsenik, Wismuth, Antimon, Zink etc.) ausgeführt, an welchen ausser dem Hauptrhomboeder (R) meist noch ein spitzeres Rhomboeder ($2R'$) mit den Abstumpfungsflächen der Rhomboederecken entwickelt war. Dem entsprechend wurden je nach der Beschaffenheit des Krystalls direct gemessen:

1) die Diagonalen d d' der Rhomboederflächen, woraus nach der Formel

$$\frac{d'}{d} = \tan \alpha$$

der halbe spitze Winkel α der Rhomben berechnet werden konnte; oder

2) die Seiten der gleichschenkligen Dreiecke, welche durch Abstumpfung der Seitenecken des Rhomboeders entstehen. Bezeichnet man diese Seiten mit a , a , b oder a , b , b , wo immer $a > b$, so ist

$$\frac{b}{a} = \tan \alpha',$$

wenn α wieder den halben spitzen Winkel der Rhomben bedeutet. Oder

3) eine Rhombenseite (l) und eine Diagonale (d oder d'), wobei

$$\sin \alpha = \frac{d'}{2l}, \quad \cos \alpha = \frac{d}{2l}.$$

Sind die Kantenwinkel auf diese Weise bestimmt, so können sowohl die Flächenwinkel als das Axenverhältniss nach den bekannten Formeln für das rhomboedrische System berechnet werden.

Nach Zenger sind die Fehler, welche nach dieser Methode aus der ungenauen Horizontalstellung der Kanten und der fehlerhaften Einstellung

*) Zenger: Mikroskopische Messungen der Krystallgestalten einiger Metalle. Sitzungsber. d. kais. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. XLIV. 2. Abth.

entspringen, viel geringer als bei der directen Winkelmessung mittelst des Oculargoniometers. Wir verweisen in Betreff der nähern Begründung dieser Vorzüge und der Veranschaulichung derselben durch Beispiele auf die citirte Abhandlung.

Das Wertheim'sche Verfahren*) setzt voraus, dass der Beobachter 478 mit den zur Bestimmung von Niveaudifferenzen im Gesichtsfelde nöthigen Vorrichtungen (vgl. pag. 246) versehen sei. Dasselbe besteht wesentlich in der Lösung der Aufgabe: den Neigungswinkel zweier Flächen, was immer für eine Neigung zum Horizonte sie haben, zu bestimmen. Man sieht leicht ein, dass damit das Problem der Krystallbestimmung im Allgemeinen erschöpft ist.

»Es handelt sich vorerst darum, die Lage einer Ebene im Raume zu bestimmen. Diess geschieht durch die Bestimmung der Lage von drei beliebigen Puncten derselben. Leicht werden solche auffindbar sein, die sich auszeichnen und daher schnell und sicher wieder gefunden werden. Die ausnahmslos vorhandenen Rauigkeiten, Risse und Sprünge auf den Flächen gestatten diess ohne Schwierigkeit. Nachdem man zuerst einen derselben in die Mitte des Gesichtsfeldes geschoben, auf ihn scharf eingestellt und nun sowohl die Lage der zwei ihm zugehörigen Horizontalcoordinaten als auch den Höhenstand des Tubus abgelesen und notirt hat, wiederholt man dieses Verfahren für die zwei andern Puncte, womit die mit dem Instrument zu vollziehende Arbeit beendet ist. Die Differenzen zwischen den jetzt abgelesenen Ständen und den als Nullpunct angenommenen des erstbestimmten Punctes, mit den gleichen oder entgegengesetzten Zeichen versehen, je nachdem sie im gleichen oder entgegengesetzten Sinne von ihm abstehen, geben die gesuchten Dimensionen. Diese Daten genügen, um nach einer bekannten Formel (die man in jedem Lehrbuch der analytischen Geometrie findet) die Lage der Ebene zu bestimmen. Dasselbe Verfahren wiederholt man bei der zweiten Ebene, die nicht an die erste zu grenzen braucht, auch ausserhalb des bisherigen Gesichtsfeldes liegen kann. Aus der bekannten Lage beider Flächen ergibt sich sodann der Werth des von ihnen eingeschlossenen Winkels.«

Diese Methode mag unter Umständen ganz praktisch sein; sie ist aber offenbar nur bei Krystallen anwendbar, die mindestens einen grossen Theil des Gesichtsfeldes einnehmen. Die Resultate werden um so ungenauer ausfallen, je kleiner die Coordinatenunterschiede der drei Puncte im Verhältniss zu den unvermeidlichen Messungsfehlern, die leicht 1—2 Mik. und darüber betragen können.

*) Sitzungsber. d. kais. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. 45, p. 157.

V.

Spezielle Betrachtung der wichtigsten chemischen Verbindungen.

479 Von den zahlreichen Stoffen, welche in vegetabilischen Geweben in grösserer oder geringerer Menge enthalten sind, wollen wir im Folgenden diejenigen, die vermöge ihrer allgemeinen Verbreitung und hervorragenden physiologischen Bedeutung ein besonderes Interesse gewähren, noch spezieller betrachten. Es sind diess die Mineralstoffe Kalk und Kieselerde, dann die Pflanzensäuren, Gerbstoffe und Glycoside, die Farbstoffe und Chromogene, endlich die Kohlenhydrate und die Proteinverbindungen. Zum Voraus sei indess bemerkt, dass die mikrochemischen Methoden, die bis jetzt bekannt geworden sind, noch gar sehr der Ausbildung bedürfen, bis sie dem Beobachter die nöthigen Anhaltspunkte bieten, um die Vertheilung und Wanderung der genannten Stoffe im Organismus zu verfolgen. Was in dieser Beziehung bereits festgestellt ist, verdanken wir zum grössten Theil den Bestrebungen der organischen Chemie und insbesondere der Agriculturchemie. Dessenungeachtet lässt sich nicht in Abrede stellen, dass die Mikrochemie für die verschiedenen Richtungen der mikroskopischen Forschung, und besonders für die botanische, eine von Jahr zu Jahr steigende Bedeutung gewinnt und bereits eine Stufe erreicht hat, welche die spezielle Berücksichtigung derselben in einem Werke wie das vorliegende nicht nur rechtfertigt, sondern fordert. Wir haben desswegen die in neuerer Zeit angewandten Reactionen, soweit sie uns nicht durch frühere Erfahrungen hinlänglich bekannt waren, durch besonders zu diesem Zweck angestellte Versuche geprüft, um über den praktischen Werth derselben aus eigener Anschauung urtheilen zu können.

1. Kalk und Kieselerde.

480 Der Kalk findet sich in den Geweben bald als Einlagerung in den Membranen, bald ausserhalb derselben. Im eingelagerten Zustande bildet er entweder mikroskopisch wahrnehmbare Körnchen (kohlensaurer Kalk in der Extracellulärsubstanz der Algen, oxalsaurer Kalk in den Membranen des Bastgewebes bei Gymnospermen etc.), oder er verbindet sich mit den Membrantheilen zu einer homogenen Masse, die sich von reiner Cellulose optisch nicht unterscheidet. Ausserhalb der Membranen ist er, abgesehen von den aus kohlensaurem Kalk bestehenden Incrustationen der Wasserpflanzen, nur als oxalsaurer Kalk bekannt, erscheint jedoch als solcher in vier verschiedenen Formen: als tetragonales Octaeder, als klinorhombisches Prisma (früher für Gypskrystalle gehalten), als Nadeln; als

morgensternförmige Drusen und in der Form von kleinen rundlichen Körnern.

Die Kalkeinlagerungen, welche körniger Natur sind, lösen sich in verdünnten Säuren meist unter Aufbrausen und geben sich dadurch, sowie durch die Bildung feiner Gypsnadeln auf Zusatz von Schwefelsäure als kohlensauren Kalk zu erkennen. Diejenigen dagegen, welche die Homogenität und Durchsichtigkeit der Membran in keiner Weise beeinträchtigen, lassen sich nur in der Asche oder im Skelett nachweisen, welches beim Verbrennen zurückbleibt. Es ist in diesem Falle zweifelhaft, ob der Kalk ebenfalls in Verbindung mit einer Säure oder aber als CaO in die Membran eingelagert war, da er durch den Verbrennungsprocess unter allen Umständen in kohlensauren Kalk übergeführt wird. Mancherlei Gründe sprechen indess zu Gunsten des basischen Zustandes als Calciumoxyd.

Von den chemischen Reactionen auf Kalk, welche sich unter dem Mikroskop verwerthen lassen, erscheinen uns namentlich folgende empfehlenswerth.

*) Kalk in ungelöster Form.

Löst sich in Essigsäure unter Gasentwicklung; auf Zusatz von saurem oxalsaurem Kali zur Lösung bilden sich octaedrische Krystalle von oxalsaurem Kalk: kohlensaurer Kalk.

Unlöslich in Essigsäure und Oxalsäure, löslich in Salzsäure und Salpetersäure, aber ohne Gasentwicklung, zeigt auf Zusatz von Chlorbaryum keine Veränderung und verhält sich nach dem Glühen wie kohlensaurer Kalk: oxalsaurer Kalk.

Löslich in viel Wasser (500 Theile), etwas leichter in Säuren, also in wenig Salz- oder Salpetersäure unlöslich; bedeckt sich auf Zusatz von Chlorbaryum mit kleinen Körnchen (von schwefelsaurem Baryt): schwefelsaurer Kalk.*)

**) Kalk in Lösung.

Bildet auf Zusatz von Oxalsäure oder löslichen oxalsauren Salzen kleine Krystalle von oxalsaurem Kalk, die sich in Salz- und Salpetersäure, nicht aber in Essigsäure und Ammoniak lösen.

Die Unterscheidung der verschiedenen organischen Säuren, an welche der Kalk gebunden sein kann, ist wegen der geringen Concentration der Lösungen in der Regel nicht möglich; die üblichen Reactionen sind hiefür nicht empfindlich genug.

*) Die Krystalle im Gewebe der Scitamineen, im Rhizom von Iris etc., die man früher für Gyps hielt, desgleichen die rhomboederähnlichen Formen, die man als kohlensauren Kalk betrachtete, bestehen nach neuern Untersuchungen aus oxalsaurem Kalk. Der schwefelsaure Kalk scheint hienach in Pflanzengeweben nicht krystallinisch vorzukommen.

481 Die Kieselerde findet sich gewöhnlich als Einlagerung in den Membranen, so in der Epidermis vieler Pflanzen und in den Parenchymzellen der Blätter, zuweilen aber auch als Auskleidung oder als vollständiger Abguss der Zellhöhlung oder als rundliche Concretionen (Cystolithen, Kieselkörner) im Zelleninhalt. Die beiden letztern Arten des Vorkommens scheinen sich indess nur auf Zellen zu beschränken, welche bereits im Absterben begriffen sind, während die Verkieselung der Wandungen nach Mohl schon beginnt, wenn die Zellen noch lange nicht ausgewachsen sind und sich also in voller Lebensthätigkeit befinden.

Die Kieselerde lässt sich wegen ihrer Widerstandsfähigkeit gegen die stärksten Säuren (mit Ausnahme der Fluorwasserstoffsäure) und ihrer Unveränderlichkeit in der Glühhitze leicht nachweisen, da dieselbe nach der Zerstörung der organischen Substanz mittelst Schwefelsäure oder durch Verbrennung und nach Behandlung der Aschenbestandtheile mit Salzsäure als Skelett zurückbleibt. In dieser einfachen Form gewährt jedoch das Verfahren, besonders wenn es sich um dünnwandige und wenig verkieselte Membranen handelt, keinen befriedigenden Erfolg. Die Anwendung der concentrirten Schwefelsäure ist nach Mohl (Bot. Ztg. 1861, p. 213) mit dem Nachtheil verbunden, dass dieselbe die organische Substanz nicht selten in eine zähe schwarzbraune Masse verwandelt, in welcher die Nachweisung eines Kieselskelettes sehr erschwert und häufig unmöglich wird. Andererseits ist die vollständige Zerstörung der organischen Substanz durch Verbrennung in vielen Fällen unmöglich, wenn man nicht vorher einen Theil derselben nebst den alkalischen Salzen auszieht. Auch kann es ohne diese Vorbereitung leicht vorkommen, dass die Kieselerde mit den Alkalien und Erden zusammenschmilzt, wodurch natürlich die Form des Kieselskelettes mehr oder weniger zerstört wird. Das zu untersuchende Gewebe muss also, wenn die Darstellung des Kieselskelettes gelingen soll, eine vorbereitende Behandlung erfahren, welche die Verbrennung erleichtert und zugleich die Verletzung des Skelettes verhütet.

Mohl fand es am besten, zuerst in der Schulze'schen Flüssigkeit (vgl. p. 474 unten) zu kochen, bis Entfärbung eintritt, und hierauf das Kali durch Auskochen mit Wasser wieder vollständig zu entfernen. Er empfiehlt überdiess, das ausgekochte Präparat nachträglich noch mit Alcohol auszuziehen und fügt dann bei: »So zubereitet, brennt sich der Theil in den meisten Fällen auf einem Platinbleche über der Spirituslampe schon bei schwacher Glühhitze schnell blendend weiss. Ist das Präparat sehr zart, so lege man dasselbe auf ein Deckgläschen und glühe es mit diesem auf dem Platinbleche. Den geglühten Theil muss man natürlicherweise mit Salzsäure ausziehen, um die alkalischen und Erdensalze zu entfernen.«

482 Will man umgekehrt die Kieselerde ausziehen, um die zurückbleibende organische Grundlage zu untersuchen, so ist nach Mohl die Flusssäure das geeignetste Reagens. Dieselbe besitzt die vortreffliche Eigenschaft, die

Kieselerde leicht zu lösen, ohne die Zellwandungen in bemerkbarer Weise anzugreifen. Kaustisches Kali löst zwar die Kieseleinlagerungen ebenfalls, wirkt aber auch auf die vegetabilische Membran und namentlich auf die Cuticularschichten bedeutend ein. Die Anwendung der Flusssäure geschieht am einfachsten in der Art, dass man gepulverten Flussspath und Schwefelsäure in ein verschliessbares Gefäss von Blei bringt und das mit Wasser benetzte Object in einem Platinlöffelchen mit einschliesst. Auf diese Weise gelang es Mohl, den Diatomeenschaalen ihre Kieselerde innerhalb 24 Stunden vollständig zu entziehen. Die einzige Vorsicht, die man dabei anzuwenden hat, besteht darin, das Präparat nicht eintrocknen zu lassen.

Die Entfernung der organischen Substanz durch die Verbrennung be- 483 wirkt je nach der Menge der eingelagerten Kieselerde eine stärkere oder schwächere Contraction der Membranen. Bei geringem Kieselgehalt erreicht dieselbe nicht selten einen solchen Grad, dass die geglühten Membranen kaum noch die Hälfte ihrer ursprünglichen Flächenausdehnung besitzen. Damit ist für die Untersuchung der Uebelstand verbunden, dass die dünnen und schwach verkieselten Membranen, wenn sie mit einem stark verkieselten Theil, wie z. B. der Epidermis, in Verbindung stehen, bei der Einäscherung vielfach zerrissen und dann leicht übersehen werden. Dieselbe Ursache bedingt auch das Einrollen der Epidermis, weil die peripherischen Schichten sich durch einen grössern Kieselgehalt auszeichnen.

Zur Orientirung für den Beobachter fügen wir schliesslich noch einige 484 Beispiele bei, welche den Untersuchungen Mohl's entnommen sind. Soweit es möglich war, wurden dieselben so gewählt, dass die angeführten Pflanzen Jedermann zugänglich sind.

Die Epidermiszellen sind mehr oder weniger stark verkieselt am Stengel von *Equisetum* und *Calamus*, an vielen Blättern aus der Gruppe der nesselartigen Pflanzen, z. B. bei *Ulmus campestris*, bei *Celtis occidentalis* u. a. Arten, bei vielen Feigen, namentlich bei *Ficus Sycomorus* und *trachyphylla* Fenzl, bei *Deutzia scabra*, *grandiflora* etc. Wo die Epidermis mit hervorragenden Knötchen oder Haaren besetzt ist, sind oft nur diese verkieselt, so z. B. bei *Scirpus palustris* und *mucronatus* die Knötchen, bei *Ficus Joannis* Boiss., *Urtica excelsa*, *lusitanica*, *hispida* und zum Theil auch *dioica* die Haare. In andern Fällen geht die Verkieselung an der Basis der Haare auf die Epidermis über und schreitet hier in concentrischen Kreisen fort, so dass jedes Haar von einer runden Kieseelscheibe umgeben erscheint, so z. B. bei *Cerintho aspera* und *minor*, *Echium vulgare*, *Lithospermum officinale*, *Helianthus tuberosus*.

Die Gefässbündel sind verkieselt in den Blättern von *Ficus Sycomorus*, *trachyphylla*, *elastica*, *Deutzia scabra*, *Magnolia*

grandiflora, *Heliopsis laevis* etc. — Die Blattparenchymzellen sind verkieselt bei *Ficus Sycomorus*, *Fagus sylvatica*, *Quercus suber*, *Deutzia scabra*, *Phragmites communis*.

Verkieselte Cystolithen finden sich in den Blättern der *Ficus*-Arten, ferner bei *Morus alba*, bei mehreren Arten von *Parietaria* etc. — Ausfüllungen der Zelhöhlungen mit Porenzapfen kommen vor in der Nähe der Gefäße in den Blättern von *Hirtella racemosa* Lam., *Davilla brasiliiana* DC.

2. Pflanzensäuren und Gerbstoffe.

485 Von den Säuren, welche gelöst in den Pflanzensäften vorkommen, sei es nun frei oder an Alkalien oder Erden gebunden, lassen sich im Allgemeinen nur die Gerbsäuren oder Gerbstoffe mikrochemisch nachweisen. Für die übrigen Säuren gewähren die bekannten chemischen Verfahren in den meisten Fällen einen höchst zweifelhaften Erfolg; sie sind auch bis jetzt, so viel wir wissen, zu mikroskopischen Zwecken nicht angewendet worden. In der Regel ist es nicht einmal möglich, das Vorhandensein einer beliebigen Säure im Saft unversehrter Zellen nachzuweisen, da eine Ausscheidung von Kohlensäure auf Zusatz von kohlensauren Alkalien selbst dann nicht erfolgt, wenn die Schnittflächen entschieden sauer auf Lakmuspapier reagiren. Die Anwendung der Lakmustinctur selbst aber ist bei lebenden Zellen nicht möglich, da der Farbstoff nur durch den todtten Primordialschlauch diosmirt.

Wir beschränken uns deshalb auf den Nachweis der Gerbsäuren, deren Verhalten zu Eisenoxydsalzen in neuerer Zeit von verschiedenen Beobachtern verwerthet wurde. Die Gerbsäuren oder Gerbstoffe geben bekanntlich mit Eisenoxydsalzen einen blauschwarzen oder grünlichen Niederschlag und werden hienach als eisenbläuende und eisengrünende unterschieden. Diese Farben treten namentlich bei erstern in so intensiven Tönen hervor, dass sie der Iodreaction auf Stärke an Sicherheit und Zuverlässigkeit kaum nachstehen. Die einzige Vorsicht, die man zu nehmen hat, besteht darin, die Lösung des Gerbstoffes im Präparatwasser oder das Diosmiren desselben in benachbarte Zellen zu verhüten. Diess geschieht am einfachsten dadurch, dass man die Schnitte unmittelbar in die Lösung des Eisensalzes legt und sogleich beobachtet, oder dass man zu den in Glycerin gelegten Schnitten rasch die Eisenlösung zusetzt.

486 So leicht übrigens die Gerbstoffe sich in Wasser lösen, so ist doch nicht zu befürchten, dass sie aus unversehrten Zellen so rasch ausgezogen werden. Diess geschieht im Gegentheil sehr langsam, indem z. B. die hellen rundlichen Gerbstoffmassen, wie sie in der Rinde von *Quercus*, *Populus*, *Betula* etc. vorkommen, selbst nach stundenlangem Liegen in Wasser wenigstens an den dickern Stellen des Schnittes noch fast unverändert sind.

Es ist daher überflüssig und schon wegen der Unbequemlichkeit nicht zu empfehlen, die Schnitte vorher in Oel zu legen, wie Hartig*) es gethan, und hierauf die wässerige Lösung zuzusetzen. Man kann sich leicht überzeugen, dass das Präparat in Oel nicht anders aussieht, als in Wasser oder Glycerin, dass also in den letztern Medien Nichts vom Inhalt verloren geht. Selbst wenn es sich um die Frage handelt, ob der Gerbstoff bloss gelöst im Zellinhalt vorkomme, oder ob er auch die Membranen durchdringe, gewährt die Anwendung von Oel keine grössere Sicherheit, als die Beobachtung der Schnitte in wässriger Lösung. Denn entweder diosmirt der Gerbstoff durch den lebenden Primordialschlauch und wird von der Membran in nachweisbarer Menge aufgenommen; dann muss sich die letztere durch Eisenchlorid bläuen, auch wenn man das Präparat zuerst in Wasser legt. Oder es findet keine Diosmose von Zelle zu Zelle oder wenigstens keine hinreichende Einlagerung statt, um eine deutliche Reaction hervorzurufen; dann bleiben die Membranen ungefärbt, wenn die Schnitte sogleich mit dem Reagens benetzt werden, wie man diess z. B. an den gerbstoffreichen Rinden von *Quercus* und *Populus* beobachtet. Die Membranen der gebläuten Zellen bleiben hier vollkommen farblos, wenn das Eisenchlorid dem frischen Präparat zugesetzt wird; sie färben sich dagegen blau, wenn man dasselbe stundenlang in Wasser liegen lässt und dadurch eine Diosmose herbeiführt, wie sie in der lebenden Rinde nicht stattfindet.

Sanio empfiehlt (Bot. Ztg. 1863, p. 17) statt eines Eisenoxydsalzes 487 das doppelt chromsaure Kali als Reagens auf Gerbstoffe. Dasselbe soll namentlich den Vortheil gewähren, dass es mit dem Gerbstoff eine Verbindung eingeht, welche sich in einem Ueberschuss des Salzes nicht löst und dabei durch die rothbraune Färbung doch deutlich genug in die Augen fällt. Sanio tränkt ganze Aststücke, welche er vorher 12 Stunden austrocknen liess, mit einer verdünnten Lösung des genannten Reagens und untersucht nachher das Gewebe auf beliebig geführten Durchschnitten. Wir haben dieses Verfahren selbst nicht geprüft, doch scheint uns die Behandlung frischer Schnitte mit Eisenchlorid wenigstens für saftige Gewebe den Vorzug zu verdienen.

Ueber das Vorkommen der Gerbstoffe mögen dem Beobachter, der sich 488 mit einschlägigen mikrochemischen Fragen zu beschäftigen gedenkt, folgende Andeutungen genügen. Die Gerbstoffe finden sich theils gelöst im wässerigen Zellinhalt, theils in hellen ölartigen Massen, welche jedenfalls aus einer viel concentrirteren Lösung bestehen und überdiess durch eine Plasmahaut von dem übrigen mit Chlorophyll und wässerigem Zellsaft ausgefüllten Theil des Zelllumens geschieden sind. Die erste Art des Vorkommens beobachtet man in Knospen, in Blattgebilden, welche später oder gleichzeitig Anthocyan enthalten, hie und da auch in den langen Zellen der

*) Hartig, Bot. Ztg. 1863. Nr. 7.

Gefässbündel, in unreifen Früchten etc. Der Gerbstoff durchdringt hier in manchen Fällen auch die Membran und scheint demnach von Zelle zu Zelle zu diosmiren. Die zweite Art des Vorkommens charakterisirt die gerbstoffhaltigen Rinden von *Quercus*, *Populus*, *Betula* u. a. Hier bleibt der Gerbstoff, ähnlich wie die Stärke, eingeschlossen in den Zellen, in denen er sich gebildet hat; er kann nur weitergeführt werden¹, nachdem er vorerst eine Umwandlung erfahren. Auf Zusatz von Wasser zerfallen die ölartigen Gerbstoffmassen in kleine Kugeln oder Körnchen, welche ein undurchsichtiges Conglomerat bilden; nach längerer Einwirkung erfolgt Lösung. Beim Austrocknen schrumpfen sie auf einen kleinen Theil ihres frühern Volumens zusammen und bilden dann nur noch ein verhältnissmässig dünnes, nach innen unregelmässig vorspringendes Wandbeleg. Die blaue Färbung, welche Eisenchlorid hervorruft, nimmt zuletzt einen braunen Ton an, woraus hervorgeht, dass neben dem eisenbläuenden Gerbstoff noch irgend eine andere Substanz oder ein anderer weniger empfindlicher Gerbstoff in den erwähnten ölartigen Massen vorkommt^{*)}. Näheres hierüber bleibt zu ermitteln.

- 489 Nach Wigand^{**)} sind die Gerbstoffe gewissermaassen als Chromogene zu betrachten; sie finden sich in allen Zellen, welche in einer etwas spätern Entwicklungsperiode rothe oder blaue Farbstoffe enthalten und kommen auch noch neben diesen in den Zellen vor, so z. B. bei jungen Blumenblättern und bei der herbstlichen Entfärbung der Laubblätter. Wir haben diese Angaben an einigen Beispielen, die sich auf die rothe Färbung der Blätter beziehen, geprüft und können dieselben bestätigen. Was indess die Reaction auf Zellen betrifft, welche bereits Erythrophyll enthalten, so ist bezüglich der Deutung eintretender Farbenveränderungen jedenfalls Vorsicht zu empfehlen, da es zweifelhaft sein kann, inwieweit dieselben von

^{*)} Diese Angaben stützen sich auf eigene Beobachtungen, welche speciell zu dem Zwecke angestellt wurden, die Mittheilungen Hartig's über das »Gerbmehl« (Bot. Ztg. 1865. Nr. 7) zu prüfen. Hartig bezeichnet die oben als zweite Art des Vorkommens erwähnte Form als amorph und führt ausserdem noch drei andere Zustände auf, in welchen der Gerbstoff vorkommen soll, nämlich den körnigen, den krystallinischen und den Wandungszustand. Wir können indess die hierauf bezüglichen Angaben nicht bestätigen. Der körnige Zustand erwies sich als feinkörnige Stärke, welche allerdings etwas Gerbstoff aus dem Zellsaft aufgenommen haben musste, da sie sich mit Eisenchlorid schwachblau färbte, aber dessenungeachtet nicht zu verkennen war. Wir sahen in gleicher Weise Kartoffelstärke, die wir mit verdünnter Gerbstofflösung getränkt hatten, auf Zusatz von Eisenchlorid sich theilweise ebenso intensiv blau färben, und dieselbe Erscheinung kann man auch an Membranen, z. B. sehr schön an Collenchymzellen, beobachten. Die Blaufärbung ist also noch kein Beweis, dass das fragliche Object aus Gerbstoff bestehe. Der krystallinische Zustand ist nach Hartig selbst noch problematisch, da hier die Gerbstoffreaction sehr zweifelhaft ausfiel. Wir halten diesen Zustand für oxalsauren Kalk, und zwar für jene monoklinische Form desselben, welche neuerdings von Holzner (Flora 1864) genau untersucht wurde. Was endlich den Wandungszustand betrifft, so dürfte die Vermuthung gestattet sein, dass er mit verdickten Wandungen, die etwas Gerbstoff enthalten, identisch sei. Wir bemerken übrigens, dass wir an den von Hartig erwähnten porös-dickwandigen Zellen von *Salisburia* die Gerbstoffreaction gar nicht beobachteten.

^{**) Bot. Ztg. 1862, p. 123 ff.}

dem vorhandenen Gerbstoff, und nicht etwa vom Farbstoff, herrühren. Der Beobachter muss wissen, ob das als Reagens angewendete Eisenoxysalz neutral, sauer oder alkalisch reagirt und darf im letztern Falle nicht versäumen zu prüfen, ob die Bläuung im angesäuerten Präparatwasser in gleicher Weise stattfindet.

Wigand fand ferner, dass zwischen Gerbstoff und Stärke eine gewisse Wechselbeziehung besteht, in dem Sinne, dass in gewissen Zellen immer zuerst Gerbstoff und erst später Stärke auftritt, oder dass ein periodisch wiederkehrender Wechsel stattfindet, indem der Gerbstoff gegen das Ende der Vegetationsperiode abnimmt und das Stärkemehl zunimmt. Im Winter soll der erstere sein Minimum, das letztere sein Maximum erreichen.

Der Gerbstoff ist bis jetzt vorzugsweise in baum- und strauchartigen 490 Gewächsen nachgewiesen worden; er scheint indess auch bei krautartigen, namentlich bei perennirenden, nicht gerade selten zu sein. Rochleder erwähnt denselben beispielsweise bei den Dryadeen (*Fragaria*, *Potentilla* etc.), den Gentianeen, Primulaceen, Sileneen etc., und es ist vor auszusehen, dass weitere Untersuchungen die Beispiele noch bedeutend vermehren werden. Die Gerbstoffe haben zweifelsohne eine viel grössere Verbreitung, als man ihnen früher zuzuschreiben geneigt war. — Die Vertheilung im Gewebe betreffend, so hält es schwer, hiefür ein durchgreifendes Gesetz aufzustellen. Man findet dieselben vorzugsweise in der Rinde, im jungen Holz, in den dünnwandigen Zellen der Gefässbündel und in der Markscheide, hie und da aber auch in zerstreuten Zellen im Marke (z. B. bei *Cissus*) und ziemlich häufig im Gewebe der Blätter, Blumen und Früchte. Nicht selten finden sich zwei verschiedene Gerbstoffe neben einander in der nämlichen Zelle, was sich durch eine mehr oder minder deutliche Veränderung des Farbentons während der Einwirkung des Eisenoxysalzes kundgiebt. Man beobachtet z. B. hie und da (so bei *Vinca*), dass rothe Zellen zuerst violett und dann spangrün werden und sich hierauf durch Töne, die wieder allmählig mehr ins Blaue gehen, entfärben. Solche Veränderungen setzen die Gegenwart zweier oder mehrerer Gerbstoffe voraus, von denen der eine etwas früher als der andere zu reagiren beginnt, so dass die resultirenden Farben sich in immer wechselndem Verhältnisse mischen.

Die von Schleiden ausgesprochene Ansicht, dass die Gerbstoffe nur 491 in absterbenden Zellen vorkommen und also ein Product der Zersetzung seien, bedarf nach dem Vorhergehenden keiner Widerlegung. Doch wollen wir nicht unerwähnt lassen, dass Gerbstoffe immerhin als Zersetzungs- oder Rückbildungsproducte vorkommen können. Wir beobachteten z. B. an absterbenden oder bereits abgestorbenen Spirogyren, wie man sie im trocken gelegten Schlamm von Teichen und Tümpeln etc. findet, in manchen Zellen eine sehr entschiedene Bläuung auf Zusatz von Eisenchlorid. Die Färbung zeigte sich am häufigsten an den Plasmamassen des Inhalts, zuweilen aber auch an Querwänden, welche, wie wir annehmen, den ihnen im gelösten

Zustande gebotenen Gerbstoff in grösserer Menge eingelagert hatten. *) Solche Fälle mögen auch bei höhern Pflanzen hie und da vorkommen.

3. Glycoside.

492 . Unter den Reactionen, welche man in chemischen Lehrbüchern für gewisse Glycoside angegeben findet, müssten wohl manche auch unter dem Mikroskop sich anwenden lassen. Bis jetzt hat diess aber, soviel wir wissen, noch Niemand versucht. Hartig (Bot. Ztg. 1863, p. 443) gibt zwar an, dass sich im Cambium und wahrscheinlich auch im Siebfasergewebe der Tanne ein dem Salicin ähnlicher Stoff, das Abietin, in Lösung befinde, welcher mit concentrirter Schwefelsäure sich blauviolett färbt (während das Salicin durch Schwefelsäure roth wird) und auf Zusatz von Wasser einen blauen, in Alkohol löslichen Niederschlag bilde. Er scheint aber diese Reactionen nur am ausgepressten Saft und auf grössern Querschnitten mit blossen Auge beobachtet zu haben. Dasselbe gilt von den Beobachtungen Böhm's **) an »Chromogendecocten«, welche beim Abschluss der Luft von noch ungefärbten Pflanzentheilen bereitet wurden, und deren Verhalten zu Schwefelsäure an die genannten Glycoside erinnert.

Bei dem vereinzelt Vorkommen der Glycoside und bei der vollständigen Unkenntniss der Rolle, die sie im Haushalt der Pflanze übernehmen, ist es übrigens gerechtfertigt, wenn die Mikroskopiker zunächst den allgemeinen Producten des vegetabilischen Lebensprocesses, deren physiologische Bedeutung in den Hauptzügen bereits bekannt ist, ihre Aufmerksamkeit widmen. ***)

4. Farbstoffe.

493 Die Farbstoffe zeigen dem Mikroskopiker vier wesentlich verschiedene Arten des Vorkommens: als Lösungen im wässerigen Zellsaft, als Lösungen in fetten oder ätherischen Oelen, als Einlagerungen in der Zellmembran und als Einlagerungen in Plasmagebilden. Ueberdiess kommt bei den Flechten noch der besondere Fall vor, dass gelbe Farbstoffe an Körnchen von unbekannter Zusammensetzung haften, welche an der Oberfläche der Membranen adhären oder zwischen die Zellen eingelagert sind.

Zu den Farbstoffen des Protoplasmas gehören zunächst diejenigen, welche mit dem Assimilationsprocess im Zusammenhang stehen, wie das

*) Die Membranen der Spirogyren (sowie viele andere) haben eine so grosse Affinität zu Gerbstoff, dass wenn man dieselben in verdünnte Gerbstofflösung bringt und dann Eisenchlorid zusetzt, sie eine tiefblaue Färbung annehmen.

**) Sitzungsber. der kais. Akad. der Wiss. in Wien, Bd. 45. 3. Abth., p. 404 und 405.

***) Ueber die mögliche Rolle der Glycoside im Organismus vgl. Rochleder, Phytochemie, p. 327, sowie die Bemerkungen von Sachs über die dort geltend gemachten Anschauungen in dessen »Experimentalphysiologie der Pflanzen«, p. 359.

Chlorophyll, das Phycochrom und die verwandten Pigmente der Florideen und Diatomeen, sodann das Anthoxanthin der gelben Blumen, dessen Rolle im Lebensprocess unseres Wissens experimentell nicht festgestellt ist. Die nämlichen Farbstoffe kommen ausnahmsweise auch als Lösungen in Oelen vor. Im Zellinhalte gelöst finden sich die rothen und blauen Farbstoffe der Blumen und Blätter, die man als Anthocyan und Erythrophyll zu unterscheiden pflegt, endlich eingelagert in den Membranen verschiedene nicht näher bekannte Pigmente, welche vom intensivsten Roth bis zum tiefsten Violett alle Farben des Spectrums zeigen.

a) Farbstoffe, welche eingelagert im Plasma vorkommen.

Der grüne oder rothe Farbstoff, welcher in den assimilirenden Zellen **494** vorkommt, ist stets mit einer organischen Grundlage von Plasma verbunden und zwar in so verschwindend geringer Menge, dass man nach dem Ausziehen des Farbstoffes aus den grünen Körnern oder Plasmamassen keine Veränderung des Volumens oder der Dichtigkeit beobachtet. Es wird angegeben, dass die Blätter eines ganzen Baumes kaum die zu einer Elementaranalyse nöthige Menge reines Blattgrün liefern, und wahrscheinlich besteht ein ähnliches Verhältniss auch für die übrigen, dem Blattgrün verwandten Farbstoffe.

Von den genannten Farbstoffen ist nur das Chlorophyll isolirt und makrochemisch untersucht worden, aber auch hievon existiren bis jetzt nur wenige und nicht ganz übereinstimmende Elementaranalysen. *) Bei der üblichen Darstellungsweise kommen überdiess so kräftige Mittel in Anwendung, dass es zweifelhaft erscheint, ob der Farbstoff dabei nicht irgend eine Veränderung erleide. Wie dem auch sei, das rein dargestellte Chlorophyll ist amorph, unlöslich in Wasser, in verdünnten Säuren und Alkalien, löslich in Weingeist, Aether, sowie in ätherischen und fetten Oelen — und in all' diesen Eigenschaften stimmt es mit dem unveränderten Chlorophyll überein. Die grün gefärbte salzsaure Lösung wird durch Einlegen von metallischem Zink entfärbt, gelblich, und beim Abdampfen auf dem Wasserbad wieder grün, eine Erscheinung, welche auf das Vorhandensein eines farblosen Chromogens hindeutet. Damit stimmt überein, dass auch das un-

*) Nach Mulder ist die chemische Formel des Chlorophylls $C_{18}NH_9O_8$; es würde also hienach ein Aequivalent Stickstoff enthalten. Damit steht indess eine neuere Analyse von Pfaundler (Ann. Chem. u. Pharm. v. Liebig u. Wöhler CXII, p. 37) im Widerspruch. Dieselbe ergab auf 100 Theile reinen Farbstoffes 0,037, also eine so geringe Menge von Stickstoff, dass dieser kaum als wesentlicher Bestandtheil zu betrachten sein dürfte. Nach den Untersuchungen von Verdeil, Gris, dem Fürsten von Salm-Horstmar, von Pfaundler und Sachs, welche das übereinstimmende Ergebnis lieferten, dass die Gegenwart des Eisens für das Ergrünen der Pflanzen nothwendige Bedingung sei, indem künstlich herbeigeführter Eisenmangel die Chlorose erzeugt, ist es dagegen wahrscheinlich, wenn auch keineswegs erwiesen, dass das Chlorophyll eine geringe Menge von Eisen enthält.

veränderte Chlorophyll in bleichsüchtigen Pflanzen unter der Einwirkung des Sonnenlichtes so rasch zum Vorschein kommt, dass die Bildung desselben aus einem bereits vorhandenen farblosen Stoff (Leukophyll) wahrscheinlich ist. Durch die Versuche von Sachs (Flora 1862, p. 429) wurde überdiess dargethan, dass in Zellen, welche später Chlorophyll enthalten, und nur in solchen, durch concentrirte Schwefelsäure augenblicklich eine intensiv spangrüne Färbung entsteht, ganz so, wie man sie an farbigen Chlorophyllkörnern beobachtet. Die Plasmapartieen, welche sich später grün färben, enthalten hienach bereits einen farblosen Stoff (Chromogen), welcher gegen Schwefelsäure wie Chlorophyll reagirt. *)

Die weitem Reactionen, welche sich unter dem Mikroskop beobachten lassen, sind nicht sehr charakteristisch; doch zeigen sie immerhin, dass das Chlorophyll etwas weniger veränderlich ist als das Phycochrom. Es behält in verdünnten Alkalien eine freudiggrüne Farbe, wird in verdünnten Säuren (HCl, $\text{N}\Theta_3\text{H}$ etc.) schmutzig gelbgrün bis goldgelb, nimmt dagegen in concentrirter Salzsäure oder Schwefelsäure einen blaugrünen, zuweilen fast indigoblauen Ton an.

- 495 Das Phycochrom unterscheidet sich vom Chlorophyll durch seine grössere Veränderlichkeit und durch die blaugrüne bis indigoblaue Farbe, die es gewöhnlich in lebenskräftigen Zellen besitzt. Diese blaugrüne Farbe scheint übrigens nur ein bestimmtes Entwicklungsstadium zu charakterisiren, da man sie in Zellfäden, wo die Reihenfolge der Zellgenerationen bekannt ist, weder in den jüngsten noch in den ältesten Zellen beobachtet. Bei den Algenfäden aus der Gruppe der *Scytonemeeen* (*Scytonema Heerianum* Näg. u. a.) erscheint die Scheitelzelle nebst den nächstliegenden Gliederzellen, also die Region, in welcher Neubildung von Phycochrom stattfinden muss, stets röthlich bis ziegelroth; dieser Ton geht dann allmählig in Blaugrün über und wird in den ältesten Zellen bräunlich oder braunorange. — Bei den Flechten mit blaugrünen Gonidien ist diese Farbe in den jüngsten Theilen des Thallus in der Regel am schönsten entwickelt und geht in tiefer liegenden Schichten des Thallus oder in Thallusschuppen, die von andern bedeckt sind, in Schmutziggelb bis Braunorange über. Diese letztere Farbe kann sich aber auch auf den ganzen Thallus erstrecken (*Ephebe*, *Spilonema* etc.), in welchem Falle es indess zweifelhaft ist, ob die

*) Nach Frémy (Ann. des sc. nat. 1860. XIII, p. 45) hätten indess diese Erscheinungen einen tiefer liegenden Grund. Nach ihm besteht der grüne Farbstoff aus einem Gemenge zweier Verbindungen, wovon die eine für sich allein gelb, die andere blau erscheint. Erstere bezeichnet er als Phylloxanthin, letztere als Phyllocyanin. Die Trennung derselben geschieht, indem man durch Weingeist ausgezogenes Chlorophyll mit einer Mischung von zwei Raumtheilen Aether und einem Theil verdünnter Salzsäure schüttelt; das Phyllocyanin bleibt alsdann in der Salzsäure, das Phylloxanthin im Aether gelöst. In vergeilten oder noch nicht grün gewordenen Blättern ist nun nach Frémy bloss Phylloxanthin vorhanden, und da das letztere, seinen Angaben zufolge, durch Behandlung mit Aether und Salzsäure theilweise in blauen Farbstoff übergeführt wird, so würde sich hieraus die von Sachs beobachtete Reaction erklären.

untersuchten Exemplare den lebenskräftigen Zustand der Pflanze repräsentirten.

Das blaugrüne Phycochrom wird durch Kalilösung gelbgrün bis goldgelb oder bräunlichgelb, durch Salzsäure gelborange, schmutziorange bis ziegelroth. Das bereits entfärbte gelbliche Phycochrom der ältern Zellen erfährt dagegen weder in Säuren noch Alkalien eine augenfällige Veränderung, sondern erhält bloss einen etwas hellern oder mehr braunen Ton. In Betreff der Löslichkeit stimmt das Phycochrom mit dem Chlorophyll überein.

Nicht zu verwechseln mit dem an Plasma gebundenen Phycochrom ist der in Wasser lösliche blaue oder rothe Farbstoff, welcher zuweilen aus absterbenden Nostochineen oder Florideen in das umgebende Medium diffundirt. Wir wollen denselben zur Unterscheidung von den in Wasser unlöslichen Farbstoffen als Porphyrin bezeichnen. Dieser Farbstoff findet sich übrigens nur bei einer beschränkten Zahl von Angehörigen der genannten Algengruppen, und es ist schon desshalb unstatthaft, die bekannte Färbung des Zellinhaltes, welche diese Gruppen kennzeichnet, durch eine Combination des Porphyrins mit normalem Chlorophyll erklären zu wollen. Auch lehrt die directe Beobachtung, dass der nach dem Ausfliessen des Porphyrins zurückbleibende Farbstoff keineswegs mit Chlorophyll übereinstimmt.

Das Phycoerythrin oder der rothe Farbstoff der Florideen schliesst 496 sich in seinem Verhalten gegen Reagentien zunächst an das Phycochrom an, da es mit diesem die grosse Veränderlichkeit gemein hat. Durch Kali und Ammoniak wird dasselbe blass olivengrünlich, fast farblos; Säuren stellen die rothe Farbe wieder her, jedoch meistens mit einem mehr violetten Ton. Concentrirte Schwefelsäure verändert die Farbe nicht. — In ältern oder absterbenden Zellen tritt die grünliche Färbung von selbst ein; man beobachtet sie hie und da an noch lebenden Pflanzentheilen, aber namentlich häufig an solchen, welche an den Strand geworfen wurden oder an Ort und Stelle im Absterben begriffen sind. Diese Farbenänderung ist indess keineswegs so aufzufassen, als ob der rothe Farbstoff sich in der Umgebung verloren und Chlorophyll zurückgelassen habe. Das Phycoerythrin ist ebenso wenig als das verwandte Phycochrom ein Gemenge von Chlorophyll und Porphyrin; das letztere ist überhaupt bei manchen schön gefärbten Florideen gar nicht nachweisbar.

Uebrigens ist auch das Phycoerythrin, wie das Phycochrom und das Chlorophyll, an Plasma gebunden und kommt meistens in Körnern vor, welche in Form und Grösse mit den Chlorophyllkörnern übereinstimmen. Aber nicht alle Bildungen dieser Art, welche sich durch eine rothe Färbung auszeichnen, sind Phycoerythrin. Schon Kütz ing (Philos. Bot. p. 166) giebt an, dass *Rytiphlaea tinctoria* durch einen Stoff gefärbt sei, welcher durch Wasser ausziehbar, in Alkohol oder Aether aber unlöslich sei; Aetzammoniak verschönere die Farbe und Säuren verwandeln sie in Hellroth-orange. Wir haben

das Verhalten gegen Säuren und Alkalien an getrockneten Exemplaren geprüft und diese Angaben richtig gefunden. Die Farbe ging auf Zusatz von Salpetersäure in Braungelb bis Orange über, Kali stellte das ursprüngliche Rothviolett verschönert wieder her. Ein abermaliger Zusatz von Säure färbte das Präparat wieder Orange, und Kali rief zum zweiten Mal das Violett zurück.

497 Das Diatomin oder der braungelbe Farbstoff der Diatomeen wird durch Alkalien und verdünnte Säuren grünlich, durch concentrirte Schwefelsäure schön spangrün. Eisenchlorid bewirkt keine Veränderung. Auf Grund makrochemischer und spectralanalytischer Untersuchungen wurde in neuester Zeit die Ansicht aufgestellt, das Diatomin sei ein Gemisch von Chlorophyll und einem gelben Farbstoff*). Entscheidende Beweise hiefür sind jedoch bis dahin nicht beigebracht worden.

498 Zu den Farbstoffen, welche an Plasma gebunden im Zellinhalt vorkommen, gehört endlich noch das Blumengelb oder Anthoxanthin**). Es reiht sich zunächst an das entfärbte Chlorophyll, das sogenannte Xanthophyll an, welches bekanntlich die gelbe Farbe absterbender Blätter, sowie die Winterfarbe mancher perennirender Blätter bedingt. Nach Kraus***) wäre dasselbe bei einem grossen Theil der betreffenden Blüthen- und Fruchtheile geradezu identisch mit dem gelben Chlorophyllbestandtheil, welcher beim Schütteln einer alkoholischen Chlorophylllösung mit Benzol in jeßer zurückbleibt, indess der blaue Bestandtheil vom Benzol aufgenommen wird. Für andere gelbe Farbstoffe wird wenigstens eine nahe Verwandtschaft mit dem gelben Chlorophyllbestandtheil angenommen. Da indess die beobachtete Scheidung des Chlorophylls in zwei Pigmente wahrscheinlich erst in Folge von stattgefundenen Zersetzungen eintritt, so lassen wir diese Angabe auf sich beruhen.†)

Das Anthoxanthin wird weder durch Alkalien noch durch verdünnte Salzsäure, Phosphorsäure oder verdünnte Schwefelsäure verändert, durch Salpetersäure dagegen grünlich gefärbt und dann farblos. In concentrirter Schwefelsäure geht es durch Grün in ein schönes Blau (dem Berlinerblau ähnlich) über, wird jedoch durch blosses Auswaschen der Säure wieder gelb. Zum zweiten und dritten Mal mit Schwefelsäure behandelt und wie-

*) Vgl. Kraus et Millardet, sur le pigment des Phycochromacées et des Diatomées. Mém. de la soc. d. sc. nat. à Strasbourg. Tom. VI, p. 23. Comptes rendus de l'acad. d. sc. à Paris, Tome LXVI. 1868, p. 505.

**) In einigen wenigen Fällen rührt die gelbe Färbung der Blüthen nach Hildebrand (Pringsheim's Jahrb. für wiss. Bot. Bd. III, p. 6) von einem gelben Zellsafte her, wie z. B. bei den gelben Varietäten von *Dahlia variabilis*, in andern Fällen von einer dickflüssigen gelben Substanz, die vom farblosen Zellsaft deutlich abgegrenzt erscheint, so z. B. bei einigen Arten von *Acacia*. Ueber die chemische Natur dieser gelben Säfte ist leider nichts Näheres mitgetheilt.

***) Kraus, Chlorophyllfarbstoffe, p. 114. Aehnlich lauten auch die oben citirten Angaben Frémy's (Ann. sc. nat. 1860. XIII, p. 45).

†) Vgl. hierüber Pringsheim, Untersuchungen über das Chlorophyll, Monatsber. der k. Akad. d. Wiss. zu Berlin, October 1874.

der ausgewaschen zeigt es immer wieder den nämlichen Farbenwechsel und zwar mit ungeschwächter Intensität. Dagegen haben Präparate, welche durch Salpetersäure entfärbt wurden, die Fähigkeit, sich durch Schwefelsäure zu bläuen, verloren. Die Salpetersäure verursacht hienach eine bleibende Veränderung, sei es in der Molecularconstitution oder in der chemischen Zusammensetzung.

b) Farbstoffe, welche im Zellsaft gelöst vorkommen.

Die Farbstoffe, welche die blaue oder rothe Färbung der Blumen und 499 die rothe Färbung der Blätter bedingen, sind mit wenigen Ausnahmen*) im wässerigen Zellsaft gelöst; sie bleiben aber dessenungeachtet in den Zellen, in denen sie entstanden sind, weil der lebende Primordialschlauch dieselben nicht diosmiren lässt. In ihrem Verhalten gegen die gewöhnlichen chemischen Reagentien zeigen die verschiedensten Nuancen, vom Scharlachroth des Papaver Rhoeas bis zum Blau der Gentianen, eine so grosse Uebereinstimmung, dass die Annahme identischer Zusammensetzung jedenfalls gerechtfertigter ist, als die übliche Unterscheidung von Erythrophyll und Anthocyan. Diese Uebereinstimmung spricht sich namentlich in der Reaction gegen Säuren und Alkalien aus. Verdünnte Säuren bewirken durchgehends eine Veränderung des Farbentons in der Richtung von Blau nach Roth, womit zugleich gesagt sein soll, dass Zellsäfte, welche bereits roth sind, keine Veränderung erfahren. Alkalien bedingen dagegen den umgekehrten Farbenwechsel; sie führen das Roth durch Violett, Blau in Grün bis Gelblichgrün oder Gelb über, wobei nach längerer Einwirkung zugleich Entfärbung stattfindet.

Wir müssen bei diesem letztern Punkt, weil hierüber die Angaben 500 neuerer Beobachter sich theilweise widersprechen, einen Augenblick verweilen. Wiesner hatte schon früher (Bot. Ztg. 1862, p. 389) den Satz aufgestellt, dass das Anthocyan als solches sich durch Alkalien blau, niemals grün, färbe. Wo die grüne Färbung zu Stande komme, rühre dieselbe von eisengrünendem Gerbstoff her, welcher durch Alkalien gelb werde; dieses

*) Eine schon lange bekannte und mehrfach erwähnte Ausnahme bildet *Strelitzia Reginae*, deren innere Perigonblätter ihre dunkelblaue Färbung zahlreichen blauen Körnchen verdanken, welche dicht gedrängt im farblosen Zellsaft schwimmen. Ein ähnliches Verhalten fand Hildebrand (Pringsheim's Jahrb. III, p. 3) bei den Blüthen von *Tillandsia amoena*, wo die indigoblaue Färbung der Perigonzipfel von kugelförmigen blauen Körpern herrührt, welche einzeln oder seltener zu mehreren beisammen in den Zellen enthalten sind. Diese Kugeln reagiren übrigens, den Angaben Hildebrand's zufolge, wie Anthocyan; auch wird angegeben, dass bei einer andern gleichgefärbten Pflanze derselben Familie (*Billbergia iridifolia*) die blaue Färbung in gewohnter Weise durch den blauen Zellsaft bedingt sei. Unter diesen Umständen ist zu vermuthen, dass diese blauen Kugeln den Farbkrystalloiden verwandte Bildungen darstellen. Dieselbe Vermuthung dürfte vorläufig auch für die violetten und rothen Farbkörperchen gerechtfertigt sein, welche Hildebrand bei *Amorpha fruticosa*, *Gilia tricolor*, *Verbena chamaedrifolia* etc. beobachtete. Die Sache verdiente übrigens, gerade mit Rücksicht hierauf, eine spezielle Untersuchung.

Gelb des Gerbstoffes mische sich mit dem Blau des Anthocyans und bilde Grün. Mit diesen Angaben wollten jedoch unsere eigenen Beobachtungen nicht stimmen, und wir haben uns deshalb in der ersten Auflage dieses Werkes folgendermaassen ausgesprochen.

Der Uebergang der rothen Farbe durch Blau in Grün ist nach unsern Beobachtungen eine das Anthocyan charakterisirende Erscheinung, welche nicht erst durch eisengrünenden Gerbstoff hervorgerufen wird. Es kann allerdings vorkommen, dass die Entfärbung, die gewissermaassen vom Farbenwechsel unabhängig zu sein scheint, schon eintritt, ehe das Grün erreicht ist. So werden z. B. die rothen Zellen im Fruchtfleisch von *Solanum spec.* (Art mit dunkeln Beeren) durch Ammoniak und verdünnte Kalilösung hellblau und entfärben sich, ohne den Farbenton zu wechseln. Legt man aber die Schnitte in ziemlich concentrirte Kalilösung, so geht das Roth in den meisten Zellen in ein schönes Spangrün über, und das ganze Präparat sieht für das blosse Auge intensiv grün aus. Die Entfärbung tritt in diesem Falle, wie wir annehmen, relativ später ein. Dass die grüne Färbung nicht etwa von eisengrünendem Gerbstoff herrührt, zeigt das Verhalten der rothen Zellen gegen Eisenchlorid; das letztere färbt reinblau, und diese Farbe bleibt während der Entfärbung unverändert. — Die nämliche Reaction zeigen auch die Blumenblätter der *Gentiana verna*. Wir sahen dieselben durch Alkalien grün werden, obschon der Gerbstoff, welcher nebst Anthocyan in den Zellen vorkommt, ein eisenbläuender ist. Legt man Stücke von Blumenblättern in eine verdünnte Lösung von Eisenchlorid, so färben sie sich zuerst violett und roth (weil das Eisenchlorid sauer reagirt); dann bildet sich der den Gerbstoff verrathende schmutzigblaue Niederschlag, welcher endlich durch das überschüssige Eisenchlorid wieder gelöst wird. Man kann diese Stadien an der nämlichen Zelle nach einander beobachten, man sieht sie aber auch gleichzeitig neben einander am nämlichen Blumenblatt und zwar um so schöner, je langsamer die Einwirkung. Wäre in diesen beiden Fällen eisengrünender Gerbstoff neben dem eisenbläuenden in den Zellen enthalten, so müsste sich derselbe durch eine entsprechende Veränderung des Farbentons kundgeben, wie man diess an andern Pflanzen auch wirklich beobachtet. Als Beispiel hiefür sei *Vinca herbacea* erwähnt. Die violette Zellflüssigkeit der Blumenblätter (welche durch Kalilösung intensiv grün wird) färbt sich auf Zusatz von Eisenchlorid zuerst roth. Nach einiger Zeit beginnt die Gerbstoffreaction. Das Roth wird momentan schön-violett, hierauf intensiv spangrün, nach und nach blasser und mehr bläulich, endlich farblos. In andern Zellen ging das Violett der ersten Einwirkung durch ein allmählig schwächer werdendes Blau in Farblos über, oder es wurde zuerst fast blau und dann schmutzig spangrün und hierauf durch Bläulichgrün farblos. Diese Farbenerscheinungen erklären sich durch die Annahme, dass eisenbläuender und eisengrünender Gerbstoff neben einander, aber in wechselndem Verhältniss im Zellsafte enthalten

sind, dass der eisenbläuernde zuerst reagiert und überdies weniger leicht gelöst wird. — Weitere Belege dafür, dass die Grünfärbung in Alkalien nicht durch eisengrünenden Gerbstoff hervorgerufen sein kann, bieten die Blumenblätter von *Orob. vernus*, *Phlox*, *Daphne Cneorum* und die oberflächlichen Zellen rother Aepfel und süsser Kirschen. *Orob. vernus* wird durch Eisenchlorid zuerst roth und entfärbt sich dann ohne Gerbstoffreaction; die übrigen führen nur eisenbläuernden Gerbstoff. Alkalien rufen jedoch durchgehends eine entschieden grüne Färbung hervor.

In einer neuern Veröffentlichung hält indess Wiesner*) an der früher 501 ausgesprochenen Ansicht fest. Hienach wäre die blaue Reaction, welche Eisenchlorid hervorruft, nicht dem Gerbstoff, sondern dem Anthocyan selbst zuzuschreiben, welches auch mit andern Metalloxyden blaue oder violette Verbindungen eingehen soll. Eisenbläuernder Gerbstoff sei überhaupt, so heisst es weiter, in den Blüthen von *Gentiana verna* u. a. gar nicht vorhanden; Eisensalze rufen weder in den wässerigen, noch in den weingeistigen oder ätherischen Extracten eine blaue Färbung hervor. Andererseits wird aber doch (l. c. p. 588) angegeben, dass solche Blüthentheile, wenn sie mit salzsäurehaltigem Wasser angesäuert, dann mit destillirtem Wasser ausgewaschen werden, bis sie nicht mehr sauer reagiren, sich auf Zusatz von Eisenchloridlösung intensiv blau färben. Das soll aber keine Gerbstoffreaction, sondern bloss die oben erwähnte, durch Eisenoxyd bewirkte Färbung des Anthocyans sein, was uns aber nicht hinreichend bewiesen erscheint.

Bezüglich der Fälle, in welchen die Farbenänderung des rothen Anthocyans auf Zusatz von Alkalien bei Blau stehen bleibt, wie z. B. in den Blüthen von *Pelargonium zonale*, so erklärt Wiesner dieselben durch das Fehlen des eisengrünenden Gerbstoffes, indem er zugleich beifügt, dass die scharlachrothen Varietäten der genannten Pflanze in der That nur »eine sehr geringe Quantität dieses Körpers« führen, während die blassrothen Sorten eine bedeutend grössere Menge desselben enthalten.

c) Farbstoffe, welche ursprünglich im Zellsaft gelöst sind und später von den Membranen gespeichert werden.

Untersucht man die verschiedenen Farbhölzer, welche zu technischen 502 Zwecken verwendet werden, unter dem Mikroskop, so erscheinen die Zellwandungen durchgehends gefärbt. Der nämliche Farbstoff findet sich aber auch im Inhalt der Markstrahlen und stellenweise auch der Holzzellen. Da nun kein Beispiel bekannt ist, dass Pigmente, die in den Membranen entstehen, sich später auch im Inhalte anhäufen, der umgekehrte Fall dagegen nachgewiesenermaassen oft vorkommt, so ist es wahrscheinlich, dass die

*) Jahrb. für wiss. Bot. VIII. (1872), p. 586 ff.

ursprüngliche Bildungsstätte auch bei den genannten Farbhölzern im Zelllumen zu suchen ist. Wir bemerken übrigens, dass das gewöhnliche Material, wie es durch den Handel bezogen wird, zur Lösung der Frage nicht ausreicht; die endgültige Entscheidung derselben bleibt in jedem gegebenen Falle der Untersuchung frischer Materialien vorbehalten.

Farbstoff von *Rubia tinctorum*.

503 Frische Krappwurzeln erscheinen im Querschnitt, wie schon Decaisne nachgewiesen, stets gelb, nie roth, und die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass die meisten Rindenzellen eine gelbe Flüssigkeit enthalten, welche bei Luftzutritt sich rasch trübt und dann jene rothen Flocken bildet, wie man sie auf Durchschnitten durch die trockene Wurzel beobachtet. Es ist leicht, sich hievon durch den ersten besten Querschnitt einer frisch ausgegrabenen Wurzel zu überzeugen. Wir können hinzufügen, dass der gelbe Farbstoff sich ursprünglich nur gelöst im Zellinhalte findet, indem die jungen Wurzeln stets vollkommen farblose Membranen besitzen. Die Färbung der letztern beginnt erst später, wahrscheinlich in Folge einer Veränderung, vermöge welcher sie den Farbstoff zu speichern vermögen. Dafür spricht wenigstens die Thatsache, dass man in ältern Wurzeln häufig lebenskräftige Zellen beobachtet, deren Primordialschlauch sich auf Zusatz von Glycerin contrahirt und deren Membranen ziemlich intensiv gefärbt sind.

504 Das Verhalten des Krappfarbstoffes gegen chemische Reagentien ist bekannt. Kali färbt ihn purpurroth und bewirkt das Ausfliessen desselben in das umgebende Medium. Säuren stellen die ursprüngliche Farbe mit einem etwas mehr orangefarbenen Ton wieder her. Die nämlichen Farbenerscheinungen beobachtet man auch am ungelösten, durch Einwirkung der Luft roth gewordenen Inhalt getrockneter Wurzeln oder einzelner Zellen, welche absichtlich mit der Nadel verletzt wurden, um die Wirkung des Luftzutrittes zu verfolgen. Der Inhalt färbt sich in diesem letztern Falle augenblicklich orange und dann röthlich, wobei sich der Farbstoff in Flocken niederschlägt; Alkalien färben indess nach wie vor purpuroth und Säuren gelborange. Eisenchlorid färbt die gelbe Zellflüssigkeit orange und zuletzt bräunlich-roth, ohne dass eine Trübung erfolgt; Alkohol zieht den gelösten Farbstoff aus, lässt dagegen den veränderten rothen ungelöst. Die gelbe alkoholische Lösung kann mit Wasser verdünnt oder an der Luft stehen gelassen werden, ohne sich zu verändern; sie zeigt übrigens auf Zusatz von Alkalien und Säuren denselben Farbenwechsel, wie die Zellflüssigkeit.

Farbstoffe der Farbhölzer.

505 Dass der Farbstoff des käuflichen Brasilienholzes, des Blauholzes und des rothen Santalumholzes vorzugsweise in die Membranen eingelagert ist

und diese gleichmässig durchdringt, ist eine bekannte Thatsache. Dagegen wurde, wie es scheint, weniger beachtet, dass der nämliche Farbstoff sich auch im Zellinhalte der Markstrahlen findet und sogar in den oft verschwindend kleinen Lumina der Holzzellen hie und da in kleinen Körnchen wahrgenommen wird. Diese Thatsache scheint uns die Vermuthung zu rechtfertigen, dass das färbende Princip, ähnlich wie beim Krapp, zuerst gelöst im Zellinhalt vorhanden war und erst später von den Membranen gespeichert wurde. Die Untersuchung lebender Pflanzen wird lehren, ob unsere Vermuthung mit der Wirklichkeit übereinstimmt.

Die genannten Farbstoffe erscheinen unter dem Mikroskop durchgehends gelb oder orange bis rothorange; sie lösen sich in Alkalien mit purpurrother, nur beim Blauholz mit violetter oder blauer Farbe; Säuren stellen den gelben Ton wieder her. Das Verhalten gegen Wasser ist bekannt; dasselbe löst das Pigment der Caesalpinien mit rother oder blauer Farbe, während dasjenige des Santalumholzes ungelöst bleibt. Setzt man zu dem wässerigen Auszug des Roth- oder Blauholzes Eisenchlorid, so färbt sich die Flüssigkeit zuerst gelb, dann tritt eine starke Tanninreaction ein, indem sich ein blauer grumöser Niederschlag bildet. Der Uebergang von Gelb zu Blau geschieht durch ein schmutziges Grün, das übrigens nur bei langsamer Einwirkung deutlich in die Augen fällt. Ob zwischen Gerbstoff und Farbstoff, ähnlich wie beim Anthocyan und Erythrophyll, ein genetischer Zusammenhang bestehe, lässt sich natürlich hieraus nicht entnehmen; diese Frage muss durch Untersuchungen an frischem Material entschieden werden.

Farbstoff der Berberis-Wurzeln.

In chemischen und pharmakognostischen Werken wird angegeben, 506 dass der gelbe Farbstoff der Columbo- und der Berberiswurzeln in den Wandungen der Holzzellen und Gefässe enthalten sei. Diese Angabe ist insofern richtig, als diese Wandungen, wie schon ihre Farbe zeigt, jedenfalls Farbstoff führen; allein auch hier macht es die mikroskopische Untersuchung wahrscheinlich, dass derselbe zuerst im Inhalte gelöst war und von da in die Membranen wanderte. Bei *Berberis* erscheint nämlich die Rinde am intensivsten gefärbt, und zwar sind es vorzugsweise die Markstrahlen und die peripherischen Rindenzellen, welche durch ihren gelben wässerigen Inhalt die Färbung bedingen. Lässt man verdünnte Säuren (Salpeters., Oxals., Phosphors., Weinsteins.) darauf einwirken, so erfolgt zunächst Ausscheidung von kleinen gelben Tröpfchen mit Zitterbewegung (vielleicht von gelösten Eiweissverbindungen herrührend). Diese Tröpfchen fliessen nach und nach zu grössern zusammen und nehmen dabei einen mehr orangefarbenen Ton an. Kali verursacht einen körnigen Niederschlag und zieht den Farbstoff, der sich dabei mehr orange färbt, nach und nach aus, indess

die körnige Masse zurückbleibt. Den nämlichen Farbenwechsel rufen Säuren und Alkalien auch an den porös-dickwandigen Zellen der Rinde hervor, welche in dem sonst dünnwandigen Gewebe zerstreut liegen; nur bedarf es einer längern oder kräftigern Einwirkung, um das Gelb der Membranen in Orange überzuführen. — Lässt man Durchschnitte durch die Rinde eintrocknen (wobei der Primordialschlauch abstirbt), so wird der Farbstoff der dünnwandigen Markstrahlen- und Rindenzellen durch kaltes Wasser rasch ausgezogen, während die Membranen ihre gelbliche Färbung behalten. Entfernt man jetzt die Schnitte und setzt zu der gelben wässerigen Lösung Salzsäure, so bilden sich zahlreiche gelbe, häufig strahlenförmig gruppierte Krystallnadeln, welche mit salzsaurem Berberin übereinstimmen. Es ist nun im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die gelbe Färbung der Zellmembranen sowohl im Holz als in der Rinde ebenfalls von Berberin oder von einer Verbindung desselben herrührt, da jedenfalls angenommen werden muss, dass die wässerige Lösung die Membran durchdringe, sobald die Lebensthätigkeit des Primordialschlauches aufhört. Die Speicherung des Farbstoffes in der Membransubstanz wäre alsdann eine Folge der Anziehung, welche dieselbe nachweisbar auf die meisten gelösten Farbstoffe, selbst auf Anthocyan und Erythrophyll, ausübt. *)

Rother und violetter Farbstoff der Samenschalen.

- 507** Die Samen von *Abrus precatorius* sind bekanntlich intensiv roth und nur in der Umgebung des Nabels schwarz gefärbt. Die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass diese letztere Färbung von einem schön-violetten, erstere von einem rothen Pigment herrührt, welche beide in die dicken Wandungen der pallisadenartigen, die Oberfläche der Testa bildenden Zellen eingelagert sind. Beide Farbstoffe werden durch Alkalien blau und durch Säuren hochroth; sie verhalten sich also wie Anthocyan. Es lässt sich auch leicht zeigen, dass die Membran der gedachten Zellen eine starke Anziehung auf das Anthocyan ausübt und dasselbe zu speichern vermag. Bringt man nämlich vollständig entfärbte und ausgewaschene Membranen in den ausgepressten Zellsaft rother Blumenblätter, so färben sie sich ebenso intensiv wie vorher und behalten die Färbung beim Auswaschen bei. Dadurch wird es im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die genannten Farbstoffe mit Anthocyan identisch und daher zuerst im Inhalte gelöst sind und erst später in die Membranen eingelagert werden.

*) Die Membranen der Collenchymzellen färben sich in einer Lösung von Anthocyan intensiv blau, und mehr oder weniger deutliche Färbungen kann man auch an andern Geweben beobachten.

d) Farbstoffe, welche nur eingelagert in die Membran vorkommen.

Von den hieher gehörigen Farbstoffen wurde bis jetzt keiner genau 508 untersucht. Alle unsere Kenntnisse hierüber beschränken sich auf gelegentliche Beobachtungen über Löslichkeit und Veränderung des Farbentons unter dem Einfluss der Reagentien. Die mikroskopische Beobachtung lässt es überdiess unentschieden, ob diese Farbstoffe wirklich in der Membran entstehen, oder ob sie vielleicht als Chromogene oder in äusserst geringer Menge fertig gebildet im Inhalte auftreten und von da in die Membran wandern. Da jedoch kein Grund vorhanden ist, die Bildungsstätte von Pigmenten, welche in nachweisbarer Menge nur in der Membran vorkommen, anderswohin zu verlegen, indem die Bedingungen zu chemischen Processen in der Membran ebenso gut wie im Inhalte gegeben sind, so entspricht die unserer Eintheilung zu Grunde liegende Annahme wenigstens den bis jetzt beobachteten Thatsachen.

Als Beispiele von Farbstoffen, welche nur als Einlagerungen in Membranen bekannt sind, führen wir zunächst diejenigen an, welche bei den Nostochinen (Chroococcaceen und Nostocaceen) vorkommen. Sie zeigen die verschiedensten Nüancen zwischen Gelb und Blau, kommen aber namentlich einerseits in braungelben, anderseits in rothen und blauvioletten Tönen vor. Sie gehören zwei Verbindungen an.

Das Glöocapsin ist roth bis blau; durch Salzsäure wird es roth (schön rosenroth, rothorange oder bläulichroth), durch Kali blau oder blauviolett. Es findet sich vorzüglich bei *Gloeocapsa*, doch auch bei einigen Fadenalgen.

Das Scytonemin ist gelb bis dunkelbraun; es wird durch Salzsäure spangrün und durch Kali wieder gelb, oft fast goldgelb. Es kommt bei vielen fadenförmigen Nostocaceen (*Scytonema*, *Schizosiphon* etc.), selten bei Chroococcaceen vor. *)

Weitere Beispiele liefern die Pigmente mancher Samenhäute, so z. B. 509 das Gelb von *Hippocrepis*, welches durch Säuren und Alkalien so gut wie keine Veränderung erfährt (nur die Intensität ändert sich etwas), ferner das Gelb der Cuticula von *Cycas* und manchen andern Pflanzen, das Braun der Zellen in der Umgebung der Gefässbündel bei gewissen Farnkräutern etc. Dagegen scheint die braune oder braunrothe Färbung der Samenschalen von *Phaseolus*, *Entada* und andern Leguminosen durchgehends von dem braungefärbten Inhalte herzurühren, in dem Sinne wenigstens,

*) Diese beiden Farbstoffe sind in systematischer Beziehung sehr constant, so dass sie zum mindesten eine generische Verschiedenheit andeuten. Es müssen daher z. B. die Glöocapsen mit gelben Membranen als besondere Gattung (*Xanthocapsa* Näg.) aus-
geschieden werden.

dass wenn hie und da auch die Membranen gefärbt sind, der Farbstoff doch nachweisbar zuerst im Inhalt vorhanden war.

Die Veränderlichkeit dieser braunen Pigmente ist eine sehr geringe. Alkalien rufen so gut wie keinen Farbenwechsel hervor; Säuren geben nur hie und da einen entschieden röthern Ton (*Phaseolus mesoleucus*), der dann durch Alkalien wieder in Bläulichbraun und hierauf in Braun oder Braungelb übergeht. Bei *Phaseolus mesoleucus* scheint dieser Farbenwechsel von Anthocyan, welches im Inhalt zurückblieb, herzuführen. Wenigstens nehmen die Membranen, welche auf Zusatz von Säuren roth werden, in Kali einen bläulichen Ton an, der sich später verliert, ganz so, wie man es an Membranen beobachtet, die wirklich Anthocyan enthalten.

- 510 Endlich sind hieher noch jene Flechtenfarbstoffe zu rechnen, welche die Färbung des Thallusrandes und des Fruchtgehäuses, in manchen Fällen auch der Rindenfasern bedingen. Auch hierüber lässt sich kaum etwas Allgemeines sagen. Es kommt nicht selten vor, dass Farbstoffe, welche nahezu gleich aussehen, sich gegen Reagentien ungleich verhalten. So beobachtet man z. B., dass jene bläulichschwärzlichen Membranen, wie man sie im »Hypothallus« und im Fruchtgehäuse hie und da wahrnimmt, durch Säuren und Alkalien gewöhnlich wenig verändert werden, während die bläuliche Farbe des Thallusrandes von *Aspicilia calcarea* durch Salpetersäure intensiv spangrün wird. Dagegen zeigen die gelben und braunen Pigmente, welche die dunkle Färbung der obern oder untern Rinde, der Fruchtgehäuse und der Haftfasern bedingen und welche nur bei wenigen Flechten ganz fehlen dürften, ein ziemlich übereinstimmendes Verhalten. Dieselben werden aus jugendlichen Geweben, soweit wenigstens unsere Beobachtungen reichen, durch Alkalien ohne Farbenveränderung ausgezogen, während sie in spätern Stadien, wie z. B. in der schwarzen untern Rinde mancher Imbricarien, in alten Fruchtgehäusen etc., widerstehen.

e) Farbstoffe, welche von den Zellen ausgeschieden werden und sich zwischen denselben oder an der freien Aussenfläche der Membranen ablagern.

- 511 Die Pigmente, welche die gelbe Färbung der obern Rinde bei *Parmelia parietina* und andern ähnlich gefärbten Flechten bedingen, sind weder im Inhalt noch in der Membran enthalten, sondern in Gestalt von kleinen Körnchen an die Aussenfläche der Membran angedrückt oder zwischen die sich berührenden Zellen eingeklemmt. Dasselbe gilt von dem gelben Farbstoff der *Solorina crocea*, *Sticta aurata* etc., wo die gelben Körnchen die Oberfläche der Markfasern bedecken.

Die Erscheinungen, welche man auf Zusatz von Kali beobachtet, machen es in manchen Fällen sehr wahrscheinlich, dass der Farbstoff nicht als solcher ausgeschieden wird, sondern in eine farblose, aus einer quel-

lungsfähigen Substanz bestehende Grundlage eingebettet ist. Darauf deuten namentlich die rothen und violetten Wolken, welche das Kali bei *Physcia parietina*, *Solorina crocea* und bei manchen gelben Krustenflechten hervorruft. Diese Wolken bestehen nämlich aus einer schwerflüssigen, fast gallertartigen Substanz, in welcher zahllose kleine Splitterchen suspendirt sind, und es scheint, dass die Färbung vorzugsweise von diesen letztern herrührt. Ob die Körnchen, welche mit Kali eine gelbe Lösung bilden, die sich rasch entfärbt, ähnlich zusammengesetzt sind, müssen weitere Untersuchungen lehren.

5. Pectinstoffe.

Seit den Untersuchungen Frémy's ist die Frage, wo das ursprüngliche Material, aus dem die Pectinstoffe entstehen, die Pectose, ihren Sitz habe, wiederholt erörtert worden. Die einen hielten sie für einen Bestandtheil des Inhalts, die andern für einen Bestandtheil der Membran. Diese letztere Ansicht fand neuerdings zwei Vertreter in Kabsch *) und Vogl **), welche dieselbe für die untersuchten fleischigen Wurzeln (*Daucus Carota*, *Brassica Napus*, *Taraxacum officinale*) übereinstimmend dahin präcisirten, dass die äussern, die sogenannte primäre Zellwand bildenden Schichten in der Umwandlung in Pectose begriffen seien und dass diese Substanz in den genannten Wurzeln die Intercellularsubstanz bilde. Ebenso soll nach Vogl die Hülle der Milchsaftgefässe beim Löwenzahn sich als »eine in der Pectinmetamorphose begriffene Cellulose« erweisen. Diese Angaben beruhen indess einzig und allein auf der theilweisen Löslichkeit der erwähnten Schichten in heissem Wasser, sowie in verdünnten Säuren und Alkalien, — Eigenschaften, die man häufig genug auch bei Algen und Flechten, überhaupt bei Pflanzen findet, welche keine Pectinstoffe liefern, und die man folglich keineswegs als Kennzeichen der Pectose betrachten darf.

Wir halten die Ansicht, dass die Pectose einen Bestandtheil der Zellwandungen bilde, für durchaus unbegründet. Untersucht man unreife Früchte, welche sich später durch ihren Pectingehalt auszeichnen (Birnen, Äpfel, Beeren etc.), so findet man durchgehends, dass das Fruchtfleisch aus einem ganz dünnwandigen Gewebe besteht, dessen Membranen sich beim Kochen in Wasser, sowie in verdünnten Säuren und Alkalien nicht merklich verändern und sich auch gegen andere Reagentien wie Cellulosemembranen verhalten. Die Pectose kann also nicht in den dünnen Wandungen, die ohnehin eine so bedeutende Menge von Material unmöglich liefern könnten, enthalten sein: sie muss einen Bestandtheil des Inhalts bilden.

*) Pringsheim's Jahrb. Bd. III, p. 366.

**) Sitzungsber. der kais. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. XLVIII. 2. Abth.

6. Kohlenhydrate.

- 513 Zu den Kohlenhydraten, deren Eigenschaften und Vorkommen wir im Allgemeinen als bekannt voraussetzen, gehören bekanntlich zunächst die Zucker- und Gummiarten und das Inulin, welche als die Endglieder der stickstofffreien Assimilationsproducte zu betrachten sind, dann die ungelösten, organisirten Gebilde der Stärke und Cellulose, welche durch Umbildung (ohne Veränderung der chemischen Zusammensetzung) aus jenen entstehen und auch umgekehrt wieder in Zucker und Gummi übergehen, um mit den strömenden Säften weiter zu wandern. Die mikrochemischen Reactionen auf die verschiedenen Kohlenhydrate verdienen unter diesen Umständen besondere Beachtung, weil sie uns die Umbildungs- und Rückbildungsprocesse, soweit sie die stickstofffreien Verbindungen betreffen, zu verfolgen gestatten.

a) Traubenzucker, Dextrin, Rohrzucker.

- 514 Um diese Stoffe in den Pflanzengeweben mikrochemisch nachzuweisen, hat neuerdings Sachs die bekannte Reaction derselben auf alkalische Kupferlösungen angewendet und dabei ein Verfahren ausfindig gemacht, welches in der That eine ziemliche Sicherheit der Beobachtung gestattet. Da dieses Verfahren auf eine der wichtigsten Erscheinungen im Lebensprocess, nämlich die Wanderung assimilirter Stoffe von Zelle zu Zelle Bezug hat, so mag hier die umständliche Beschreibung desselben, wie sie von Sachs selbst (Flora 1862, pag. 289) mitgetheilt wurde, Platz finden.

»Die zu untersuchenden Längs- und Querschnitte der Pflanzentheile werden in eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol, welche sich in einem kleinen flachen Porzellanschälchen befindet, gelegt. Wenn es darauf ankommt, die im Inhalt der Zellen gelösten Stoffe aufzusuchen, so dürfen die Schnitte nicht zu dünn sein, sie müssen wenigstens eine bis zwei Schichten unverletzter Zellen enthalten; will man dagegen Färbung der Zellhäute hervorrufen, so ist es besser, dünnere Schnitte zu nehmen, welche keine ganzen unverletzten Zellen enthalten, weil in diesem Falle die etwaigen Reactionen im Zellinhalt den Eindruck stören würden. Auch die Zeit, wie lange die Schnitte in der Kupfervitriollösung liegen müssen, ist darnach einzurichten; im Allgemeinen müssen die Schnitte länger in der blauen Flüssigkeit liegen, wenn man auf die Zellhäute reagiren will. In diesem Falle können die Präparate zuweilen schon nach 5—10 Minuten zur weiteren Behandlung kommen, zuweilen müssen sie aber mehrere Stunden in der Kupferlösung liegen. Um die in der Zellflüssigkeit vorhandenen Stoffe nachzuweisen, genügt dagegen meist ein Verweilen von 2—3, seltener von 5—10 Minuten in der Lösung. Doch muss man aus dem nämlichen Pflanzentheil immer gleichzeitig mehrere und verschieden dicke Schnitte

in die Flüssigkeit legen und sie bei der folgenden Behandlung mit Kali nach einander vornehmen.

»Es wird nun in einem kleinen, etwa 8—10^{cc} fassenden Porcellanschälchen Kalilösung (etwa 1 Gewichtstheil Wasser auf 1 Gewichtstheil kaustisches Kali) bis zum Kochen erhitzt, indem man das Schälchen in eine Drahtöse setzt, die an einem Holzgriff befestigt ist, und es damit über die Spiritusflamme hält. Dann setze ich das Schälchen vor mich hin, nehme mit einer feinen Pincette einen Schnitt aus der Kupferflüssigkeit und schwenke ihn einigemal in einer grössern Wassermasse (am besten in einer grössern Porcellanschale enthalten) hin und her, um die äusserlich anhängende Kupferlösung zu entfernen, was für das Gelingen der Reaction maassgebend ist; sodann lege ich den Schnitt in die heisse Kalilauge. Entweder erfolgt die nun zu beschreibende Reaction schon jetzt, oder man muss das Schälchen sammt dem darin liegenden Schnitt nochmals über die Flamme halten.

»Ist Traubenzucker oder Dextrin in den Zellen, so bildet sich in dem vorher farblosen Gewebe ein zinnoberrother bis mennigrother Niederschlag von reducirtem Kupferoxydul. Tritt ein solcher Niederschlag nicht ein, so darf man mit Bestimmtheit auf Abwesenheit von Traubenzucker und Dextrin schliessen.

»Ist in dem Parenchym Rohrzucker vorhanden, so nimmt das mit Kupferflüssigkeit getränkte Gewebe im Kali eine schöne blaue Färbung an, und bei dem Erhitzen tritt keine Reduction von Kupferoxydul auf, die Flüssigkeit bleibt blau und diffundirt in das umgebende Kali. Tritt bei dem Eintauchen des mit Kupfervitriol getränkten und abgewaschenen Schnittes in Kali (vor und nach dem Erhitzen) in den Zellen eine violette Flüssigkeit auf, so ist diess ein Beweis für die Gegenwart von eiweissartigen Stoffen.«

Die weitem Bemerkungen, welche Sachs noch hinzufügt, geben wir hier im Auszuge wieder. Um auf Zellhäute, Traubenzucker und Dextrin zu reagiren, können die mit Kupferlösung getränkten Schnitte auch auf dem Objectträger in Kali gelegt werden, wobei die Reaction der Zellmembran sogleich, die des wässerigen Zellinhaltes nach dem Erhitzen über der Weingeistflamme eintritt. — Die Reaction auf Rohrzucker ist unter den oben angegebenen die am wenigsten sichere, jedoch bei grösserem Zuckergehalt, wie z. B. im Gewebe der Runkelrüben, nicht zu verkennen. Die blaue Färbung der Zellmembranen, wie man sie am Collenchym, an jungen Bastzellen und am Holzcambium beobachtet, darf dagegen nicht als Rohrzuckerreaction gedeutet werden.

Diese Methode des Zuckernachweises hat den Nachtheil, dass die Kupferlösung nicht selten im Ueberschuss in die Zellen eindringt, und dass in Folge dessen schwarzes Kupferoxyd gefällt wird, welches die Farbenreaction trübt. Dieser Uebelstand kann indess gehoben werden, wenn man nach dem Vorschlage Pfeffer's*) das Fehling'sche Verfahren einschlägt,

*) Pringsheim's Jahrb. VIII, p. 538.

indem man weinsaures Kupferoxyd anwendet und dem Kali zum Ueberfluss noch weinsaures Alkali, z. B. weinsaures Natron[>]Kali (Tartarus natronatus der Apotheken) zusetzt. Das weinsaure Kupferoxyd wird am einfachsten dadurch dargestellt, dass man Lösungen von Kupfervitriol und einfach weinsaurem Kali mischt und von dem ausgeschiedenen schwerer löslichen schwefelsauren Kali abfiltrirt. Auf chemische Reinheit des Filtrates kommt es dabei nicht an.

Es ist übrigens zu bemerken, dass die Kupferoxydreaction für den Nachweis von Zucker und Dextrin immer zweifelhaft bleibt. Denn einerseits wird das Kupferoxyd auch von andern Pflanzenstoffen, wie z. B. von Pectinstoffen und vielen Pflanzensäuren reducirt; andererseits gibt es nach Babo und Meissner Verbindungen, welche die Abscheidung des Kupferoxyduls verhindern, so z. B. organische Basen, Peptone und Proteinkörper.

b) Inulin.

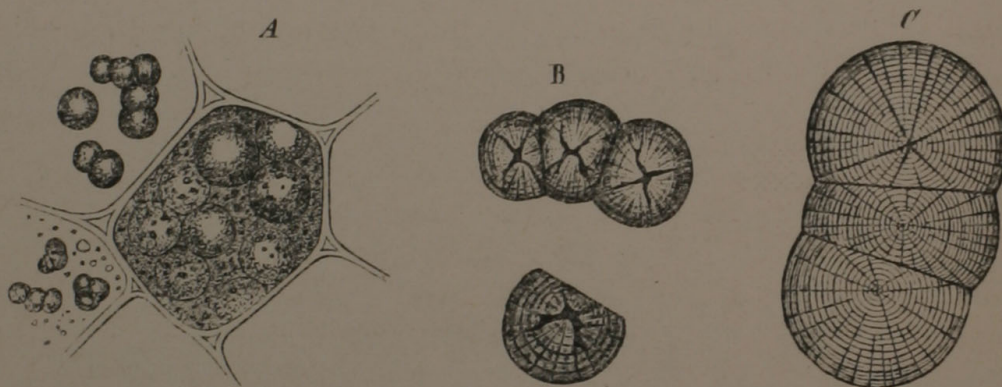
515 Von den Eigenschaften des Inulins heben wir hier nur diejenigen hervor, welche zur Nachweisung desselben in mikroskopischen Objecten dienen können. Wir halten uns hiebei zunächst an die Angaben von Sachs,*) dem es zuerst gelang, Reactionen ausfindig zu machen, die für das Inulin charakteristisch sind und unter dem Mikroskop sich leicht und sicher wiederholen lassen.

Das Inulin kommt hienach in den lebenden Parenchymzellen, wie schon Payen und Mohl richtig erkannt hatten, immer gelöst im Zellsafte vor. Wo es in grösserer Menge vorhanden ist, wie in den reifen Knollen von *Helianthus tuberosus*, *Dahlia variabilis* und *Inula Helenium*, scheint die Lösung eine sehr hohe Concentration zu besitzen, da sie in den unverletzten Zellen, wenigstens bei schwächerer Vergrösserung, den Anschein eines dünnen hellgelblichen Oeles gewährt. Taucht man einen frischen Schnitt von inulinhaltigen Knollen in Alkohol ein, so bildet sich ein feinkörniger Niederschlag, dessen Körnchen eine lebhafte Zitterbewegung zeigen. Hie und da beobachtet man auch grössere Kugeln, welche bei schwacher Vergrösserung Oeltropfen ähnlich sind (Fig. 235 A). »In vielen Zellen hat der Niederschlag aber ein anderes Ansehen; es scheint so, als ob sich eine schaumige, vacuolige, stark lichtbrechende Masse an die Zellwand angelagert hätte. Lässt man ein derartiges Präparat nun 5—10 Minuten in Alkohol liegen, so geschieht es oft, doch nicht immer, dass sich einzelne Zellengruppen klären, indem der feine Niederschlag verschwindet und statt dessen grössere Kugeln von 40—45 Mikromill. Durchmesser auftreten; oft hängen sie traubig zusammen, meist sitzen sie, halbkugelförmig, mit der

**) Ueber die Sphaerokrystalle des Inulins und dessen mikroskopische Nachweisung in den Zellen (Bot. Ztg. 1864, p. 77).

flachen Seite an der Zellwand, zuweilen sind sie völlig rund, und isolirt. (Fig. 235 A.)

Bringt man nun einen so vorbereiteten Schnitt in kaltes Wasser, so treten die grössern Kugeln klarer hervor, indess die kleinen Niederschlagskörnchen verschwinden. Sämmtliche Kugeln zeigen radiale Risse, die schönsten derselben zugleich einige concentrische Schichten (Fig. 235 B). Die Uebereinstimmung mit den Sphärokrystallen des Inulins (Fig. 235 C), wie man sie ausserhalb der Pflanze aus warmen wässerigen Lösungen beim Stehenlassen, oder indem man Alkohol langsam hinein diffundiren lässt,



Figur 235.

erhält, ist jetzt nicht mehr zu verkennen. Dass die letztern beträchtlich grösser und ausgebildeter sind, erklärt sich einfach durch ihre langsamere Entwicklung. Uebrigens hat Sachs gezeigt, dass man ebenso schöne, oft colossale Formen von Sphaerokrystallen erhält, wenn man grössere Stellen von inulinhaltigen Knollen in Alkohol oder in Glycerin einige Tage, Wochen oder Monate lang liegen lässt. Man bemerkt alsdann auf glatten Durchschnitten schon mit freiem Auge kleine Körnchen im Gewebe, welche einen ganzen Complex von Zellen einnehmen, und die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass neben diesen grossen Krystallen auch zahlreiche kleinere vorhanden sind, welche das Lumen einer einzigen Zelle oder auch nur einen Theil desselben ausfüllen. Dasselbe beweisen auch die von Nägeli *) beschriebenen, wahrscheinlich aus Inulin bestehenden Sphaerokrystalle der *Acetabularia mediterranea* (alte Weingeistexemplare), welche hinsichtlich ihrer Ausbildung die von Sachs dargestellten noch übertreffen.

Die mikroskopische Nachweisung des Inulins geschieht also nach dem 516 Gesagten dadurch, dass man frische Schnitte mit Alkohol behandelt oder, was besser ist, die zu prüfenden Pflanzentheile in grössern Stücken Tage, Wochen oder Monate lang in Alkohol oder Glycerin liegen lässt. Bilden

*, Sitzungsber. d. k. bayer. Ak. d. Wiss. zu München. Vortrag vom 8. März 1862.

sich bei dieser Behandlung die in unserer Figur dargestellten charakteristischen Formen der Sphaerokrystalle, so darf man mit Sicherheit auf die Gegenwart von Inulin in den untersuchten Pflanzentheilen schliessen.

Wo es darauf ankommt, nicht bloss das Vorhandensein im Allgemeinen, sondern auch die Vertheilung des Inulins im Gewebe zu constatiren, kann nebenbei die neuerdings von Prantl^{*)} empfohlene Methode angewandt werden. Man lässt die betreffenden Pflanzenorgane langsam austrocknen, wodurch das Inulin in der charakteristischen Form ausgeschieden wird, und zwar selbstverständlich nur in den Zellen, in denen es vorher gelöst enthalten war. Bei der Anwendung von Alkohol dagegen entstehen die Sphaerokrystalle in Folge von Diffusionsvorgängen oft an Stellen, wo vorher kein Inulin vorhanden sein konnte, wie z. B. in Gefässen u. dgl., während umgekehrt andern Stellen der Inulingehalt vollständig entzogen wird.

Wer die Sphaerokrystalle einmal aus eigener Anschauung kennen gelernt hat, wird in der Regel eine weitere mikroskopische Prüfung derselben kaum für nöthig erachten. Für zweifelhafte Fälle mögen indess noch folgende Reactionen, die sich mikroskopisch leicht beobachten lassen, Erwähnung finden. Die Sphaerokrystalle des Inulins zeigen auf Zusatz von Wasser, Säuren oder Alkalien keine Quellungserscheinungen; sie sind nicht imbibitionsfähig, wie die Stärkekörner oder die Proteinkrystalloide, wohl aber porös wie Tuffstein. Dem entsprechend erscheinen sie unter dem Mikroskop durchsichtig, so lange die Poren mit einer Flüssigkeit gefüllt sind, undurchsichtig dagegen, sobald die letztere durch Verdunstung verschwunden ist. Lässt man Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure oder Kalilösung darauf einwirken, so findet gewöhnlich zunächst ein Zerfallen derselben in mehrere Sectoren, dann aber die vollständige Auflösung der Theile von aussen nach innen statt. Wässerige oder alkoholische Iodlösungen dringen in die Sphaerokrystalle ein und erzeugen eine braune Färbung, die indess von der Iodlösung allein herrührt; eine Aufspeicherung oder Verdichtung des Iod, etwa ähnlich wie in Stärkekörnern oder Zellkernen, findet nicht statt.

c) Stärke.

- 517 Die Stärkekörner färben sich bekanntlich auf Zusatz von Iodlösung blau. Die Färbung ist in der Regel so deutlich, dass selbst Körner von nur 2—3 Mik. im Durchmesser noch sicher als Stärke erkannt werden können. Da sie überdiess bei vorsichtigem Iodzusatz schon beginnt, ehe das Plasma die geringste Veränderung zeigt, so ist die Reaction auch in solchen Fällen sicher, wo die Stärkekörner von Plasmamassen eingehüllt sind. Uebrigens

^{*)} K. Prantl, Das Inulin, p. 37.

kann man in diesen Fällen die eiweissartigen Stoffe des Plasmas durch längeres Liegenlassen der Schnitte in Kali ausziehen und hierauf die aufgequollenen Körner mit Iod färben. Ebenso kann das Chlorophyll, wenn es die Sicherheit der Beobachtung beeinträchtigt, vorher durch Alkohol entfernt werden.

Die Beobachtung dieser wenigen Vorschriften genügt in der Regel, um **518** die Gegenwart von Stärkekörnern nachzuweisen. Um jedoch in zweifelhaften Fällen nicht irre zu gehen, ist das Verhalten derselben gegen Iodlösungen im Gegensatz zu andern Stoffen, die in der Zelle vorkommen, noch genauer ins Auge zu fassen. Aus den betreffenden Untersuchungen *) heben wir nachstehend die für unsere Zwecke wichtigern hervor.

1) Wenn Stärke mit geronnenen eiweissartigen Verbindungen gemischt und auf dem Objectträger in eine sehr verdünnte wässrige Iodlösung gebracht wird, so färbt sich vermöge ihrer vorwiegenden Affinität zuerst die Stärke und erst später das Eiweiss. Ebenso entzieht das Wasser bei der Entfärbung in Folge der Verdunstung zuerst dem Eiweiss und dann erst den Stärkekörnern das aufgenommene Iod. Aehnliche Verschiedenheiten bestehen übrigens auch zwischen den Stärkekörnern verschiedener Pflanzen. Kartoffel- und Weizenstärke zeigen z. B. die Reaction früher als Stärkekörner aus der Ingwerwurzel. Der Versuch gelingt am besten, wenn man die Objecte in reines Wasser legt und zwischen dieselben oder an den Rand des Deckgläschens ein paar Iodsplitter bringt.

2) Legt man durch Hitze coagulirtes Hühnereiweiss in wässrige Iodlösung, so färbt sich dasselbe allmählig durch und durch braun. Bringt man es nun in ein verschlossenes, mit Wasser und Stärke gefülltes Gefäss, so verlässt das Iod langsam das Eiweiss und färbt die Stärke. Dagegen vermag umgekehrt das coagulirte Eiweiss der gebläuten Stärke kein Iod zu entziehen. Aehnlich verhalten sich auch Dextrin, Flechtenschläuche, mit Schwefelsäure behandelte Baumwollenfasern etc.; sie haben sämmtlich eine geringere Affinität zu Iod als Stärkemehl und werden daher von diesem entfärbt.

Aus diesen beiden Puncten ergibt sich für den Beobachter die Regel, dass eine Bläuung, welche bei langsamer Einwirkung von Iod erst eintritt, nachdem das Plasma sich bereits gefärbt hat, nicht auf das Vorhandensein von Stärke schliessen lässt. Wenn z. B. in der Epidermis von *Ornithogalum* die allmähliche Einwirkung von Iod zuerst die Stärkekörner der Spaltöffnungszellen blau, dann das Plasma braungelb und zuletzt eine fragliche Substanz (angeblich gelöste Stärke), die im Zellsaft enthalten ist, violett färbt, so folgt daraus, dass die letztere nicht Stärke sein kann.

Den Einfluss betreffend, welchen der Wassergehalt auf die Färbung **519**

*) Nägeli in den Sitzungsber. der k. bayer. Akad. d. Wiss. in München. Vortrag vom 13. Dec. 1862.

der Stärke ausübt, so schienen die frühern Beobachtungen von Mohl und Nägeli*) zu dem Resultate zu führen, dass die Anwesenheit des Wassers nothwendige Bedingung der blauen Färbung sei. Iodstärke, welcher das Wasser entzogen wird, nimmt in der That allmählig einen braungelben, braunrothen bis dunkelbraunen Ton an und wird nach der Benetzung wieder blau. Die Schlüsse, welche aus diesen Beobachtungen gezogen wurden, bedürfen jedoch einer Berichtigung; sie müssen nach den erwähnten und fernern neuen Untersuchungen**) folgendermaassen formulirt werden.

1) Die Stärke nimmt verschiedene Farben an, je nachdem sie im Momente, in welchem das Iod eingelagert wird, mit mehr oder weniger Wasser imbibirt ist. Die reinblaue Färbung erlangt sie nur dann, wenn sie nahezu ihren vollen Wassergehalt hat. — Wasserfreie Iodtinctur, desgleichen Iod in ätherischem Oel gelöst oder in Dampfform, färbt trockene Kartoffelstärke äusserst langsam und zwar zuerst gelb, dann gelbbraun. Wird der Iodtinctur etwas Wasser beigemischt, so erhält man, je nachdem man nur wenig oder etwas mehr genommen, rothgelbe, braune, rothbraune, kupferrothe und violette Töne.

2) Die durch Iod gefärbte und von Wasser durchdrungene Stärke kann die angenommene (blaue, rothe oder gelbe) Farbe unverändert behalten, wenn ihr das Wasser durch Verdunsten oder durch Alkohol entzogen wird. — Tritt während des Austrocknens eine Farbenänderung ein, so liegt die Ursache nicht in der Verminderung des Wassergehaltes an und für sich.

3) Unter übrigens gleichen Umständen bewirkt die grössere oder geringere Menge des eingelagerten Iod keine Verschiedenheit des Farbentons, sondern nur eine grössere oder geringere Intensität der Farbe. — Wo also beim Färben oder Entfärben ein Farbenwechsel bemerkbar ist, wird derselbe nicht durch den Iodgehalt, sondern durch andere Ursachen bedingt.

4) Die Ursache verschiedener Färbung bei gleichem Iodgehalt liegt immer in Iodverbindungen, welche die Iodstärke durchdringen. So bewirkt z. B. Iod in verdünnter Iodkaliumlösung eine schöne blaue Färbung der Kartoffelstärke; fügt man mehr Iodkalium hinzu, so treten mit der zunehmenden Concentration violette, rothe, kupferrothe, rothbraune und zuletzt braungelbe und gelbe Farbentöne auf. Aehnliche Färbungen erhält man, wenn man die Stärke in Lösungen von Iodwasserstoffsäure, Iodmagnesium, Iodammonium etc. bringt und dann reines Iod zusetzt. Diese Iodverbindungen haben also das Vermögen, die Blaufärbung der Stärke zu verhindern und, wenn sie auf schon gebildete blaue Iodstärke einwirken, den blauen Farbenton durch Violett und Roth in Gelb überzuführen. Eine chemische oder physikalische Veränderung der Stärke findet dabei nachweis-

*) Mohl, Flora 4840. Nägeli, Stärkekörner p. 488.

**) Walter Nägeli, Beiträge z. nähern Kenntniss d. Stärkegruppe. Leipzig, 1874.

bar nicht statt, wenn sie mit Wasser ausgewaschen wird, so verhält sie sich wie unveränderte Stärke.

Es ist nöthig, hier noch auf einige Irrthümer hinzuweisen, denen man bei diesen Versuchen ausgesetzt ist. Einmal ist zu bemerken, dass sich bei Anwesenheit von gewissen Substanzen leicht Iodverbindungen bilden, z. B. Iodwasserstoffsäure bei Anwesenheit von Gerbstoffen etc., sodann Iodsalze aus andern Salzen. Ferner bildet sich Iodwasserstoffsäure beim Stehenlassen des Präparats (und zwar aus Iod und Wasser), besonders beim Erwärmen oder Austrocknen. Daher wird Iodstärke durch Erhitzen oder durch wiederholtes Austrocknen roth bis gelb. — Auch andere Stoffe, welche in Wasser gelöst sind, können die Farbenreaction beeinflussen. Wird z. B. ein nicht abgewaschener Iodkrystall zu einem Präparat von Stärkemehl in Wasser gebracht, so tritt Blaufärbung ein, weil sich die am Iodsplitter haftende geringe Menge von Iodwasserstoffsäure rasch im Wasser verbreitet. Liegt dagegen das Präparat in Glycerin oder Zuckersyrup, welche beide die Ausbreitung der Säure verlangsamen, so färben sich die dem Iodsplitter zunächst liegenden Stärkekörner gelb, die folgenden roth und erst die weiter abstehenden blau.

Ueber die verschiedenen Bestandtheile, aus denen die Stärke besteht, 520 giebt die langsame Einwirkung des Speichels*) und verdünnter Säuren Aufschluss. Lässt man Speichel bei einer Temperatur von 45—50°C. längere Zeit auf frisches, unverändertes Stärkemehl einwirken, so tritt ein allmählicher Auflösungsprocess ein, welcher an der Oberfläche beginnt und nach innen zu fortschreitet. Die Substanz des Kornes wird aber nicht vollständig gelöst, wie es bei der im Uebrigen ähnlichen Einwirkung der Diastase während der Keimung der Fall ist, sondern es bleibt je nach der schwächern oder stärkern Einwirkung entweder eine ununterbrochene Substanz von gleicher Form und Schichtung wie das unveränderte Korn, nur von geringerer Dichtigkeit, oder aber ein System von ineinander geschachtelten zarten Blasen, welche den theilweise aufgelösten dichtern Schichten des Kornes entsprechen, zurück. Untersucht man die Körner in den verschiedenen Stadien der Resorption, so sieht man deutlich, wie die bereits angegriffene, zarte Randpartie allmählig breiter wird, indess der unveränderte centrale Theil, welcher vermöge seiner stärkern Lichtbrechung stark contourirt erscheint, sich gleichzeitig verkleinert und zuletzt verschwindet.

Haben die Körner Risse im Innern, so wird zunächst eine periphere Substanzlage in der angegebenen Weise verändert. Später, wenn die Risse erreicht sind, dringt das Reagens in dieselben ein und wirkt fortan von ihrer ganzen innern Fläche aus. Das Korn wird dadurch in verschiedener Weise ausgehöhlt, oft so, dass die umschliessende Hülle zuletzt an

*) Vgl. Nägeli, Stärkekörner p. 443 ff.

mehreren Punkten durchbrochen erscheint oder in zwei oder mehr Stücke auseinander fällt.

Das nach der Behandlung mit Speichel zurückbleibende Korn wird durch wässrige Iodlösung blass kupferroth oder gelb gefärbt. Dasselbe ist übrigens im Speichelferment keineswegs unlöslich; es wird schliesslich, wenn das Reagens lange genug einwirkt, ebenfalls gelöst und zwar von der Oberfläche aus nach innen und in den weichern Partien früher als in den dichtern.

Noch bessere Resultate als Speichel geben Mineralsäuren in solcher Verdünnung, dass sie keine Quellung der Körner verursachen. Dieselben lösen bei langer Einwirkung die Bestandtheile der Körner nach Maassgabe der geringern oder grössern Widerstandsfähigkeit auf. Zuerst verschwindet die durch Iod sich blau färbende Substanz; die Körner werden nun violett. Indem in gleicher Weise die übrigen Bestandtheile der Reihe nach in Lösung gehen, verwandelt sich auch die durch Iod hervorgerufene Färbung in Roth, Orange und Gelb. Das Stärkekorn ist also ein Gemenge einer Reihe von Modificationen, die man als iodblaue, iodrothe, iodgelbe Stärke bezeichnen kann. Von diesen hat die iodgelbe Stärke die geringste, die iodblaue die stärkste Verwandschaft zu Iod. Durch Kochen geht die iodgelbe Modification in die iodblaue über; dieser Uebergang lässt sich aber nur an der nicht durch Säure veränderten Stärke nachweisen*); die durch Säure gewonnene iodgelbe Stärke wird durch Kochen unmittelbar in Amylodextrin übergeführt.

521 Eine ähnliche Reihe von Modificationen ergiebt sich beim Ueberführen der Stärke in Zucker durch Einwirkung von Säuren. Man erhält nacheinander Substanzen, die in Lösung durch Iod violett, roth, orange und gelb gefärbt werden, und deren Verwandschaft zu Iod in eben dieser Reihenfolge geringer wird. Die beiden ersten (violett und roth sich färbenden) bilden das Amylodextrin, die beiden letzten das Dextrin. Diese Substanzen zeichnen sich überdiess durch folgende Merkmale aus:

Dextrin löst sich in kaltem Wasser in allen Verhältnissen und wird nur durch Alkohol, aber nie in krystallinischem Zustande, niedergeschlagen.

Amylodextrin löst sich in kaltem Wasser fast nicht, in Wasser von 60°C. in grosser Menge auf. Beim Fällern mit Alkohol krystallisirt es in Nadeln, beim Abdampfen oder Gefrieren der Lösung in Scheibchen. Diese Scheibchen bestehen aus feinen Nadeln, die in der Richtung der Radien um die Axe gruppirte sind. Man kann sie, nach der Analogie mit den Sphaerokrystallen, als Discokrystalle bezeichnen.

Dextrin und Amylodextrin kommen in den Stärkekörnern nicht vor;

*) Lässt man z. B. Stärkelösung stehen, so verwandelt sich die iodblaue und iodrothe Stärke unter dem Einfluss von Schizomyceten in Zucker, während die iodgelbe ausgeschieden wird. Gekocht geht die letztere in iodblaue Stärke (nicht Amylodextrin) über.

diese enthalten nur Modificationen der Stärke, wobei die verschiedenen Schichten und Regionen eines Kornes aus ungleichen Gemengen bestehen. Am meisten iodblaue Stärke enthalten die weichen Schichten und die innere Substanz, am meisten iodgelbe Stärke die Rindenschichten (Hüllen). An aufgequollenen Stärkekörnern sieht man oft sehr deutlich, dass die äussersten Schichten durch Iod hell rothbraun gefärbt werden. Diese letztern zeigen auch die grösste Widerstandsfähigkeit gegen Lösungsmittel; sie bleiben zuletzt noch allein als Hüllen übrig. — Auch die verschiedenen Stärkemehlarten unterscheiden sich durch ungleichen Gehalt an Stärkemodificationen. So enthält die Kartoffelstärke viel, die Weizenstärke fast nichts von der iodblauen Modification; jene färbt sich indigo, diese violett.

Stärke, Amylodextrin und Dextrin sind wahrscheinlich nicht verschiedene chemische Verbindungen, sondern die nämliche Verbindung in grösserer oder geringerer Vertheilung, und die Umwandlung von iodgelber Stärke in iodrothe und iodblaue, ferner in Amylodextrin und Dextrin geschieht lediglich durch zunehmendes Zerfallen der Micellen in kleinere Theile. *)

d) Cellulosearten.

Nach der gewöhnlichen Ansicht über die Zusammensetzung der Zell- 522 membranen, wie sie von Payen und v. Mohl begründet und seitdem von Chemikern und Botanikern ziemlich allgemein angenommen wurde, besteht die Grundlage aller vegetabilischen Zellmembranen, von der höchsten Pflanze bis zu den Pilzen abwärts, aus einer und derselben chemischen Verbindung, der Cellulose. Dieselbe soll in jugendlichen Zellmembranen in ziemlich reinem Zustande vorkommen, in ältern dagegen durch fremdartige Einlagerungen (incrustirende Substanzen) chemisch und physikalisch mehr oder weniger verändert sein. Sie erlangt jedoch, so lehrte man weiter, ihre ursprünglichen Eigenschaften unter allen Umständen wieder, wenn die incrustirenden Substanzen durch geeignete Behandlung mit Säuren, Alkalien etc. ausgezogen werden. Als charakteristische Eigenschaft der purificirten Cellulose betrachtete man die Blaufärbung auf Zusatz von Iod und Schwefelsäure und die vollständige Unlöslichkeit derselben in kaltem und heissem Wasser, sowie in verdünnten Säuren und Alkalien. Mohl ging sogar noch einen Schritt weiter, indem er der »gereinigten Cellulose« die Fähigkeit zuschrieb, sich durch Iod und Wasser allein blau zu färben. **)

Diese Theorie lässt sich mit den neuern Untersuchungen ***), welche

*) In Bezug auf Weiteres hierüber verweisen wir auf W. Nägeli, Beiträge z. nähern Kenntniss d. Stärkegruppe, Leipzig 1874.

**) Bot. Ztg. 1847, Veget. Zelle p. 30.

***) Vgl. Nägeli in den Sitzungsber. d. k. bayer. Akad. der Wiss. in München, Vortrag vom 6. Mai und 13. Juni 1863.

entschieden gegen die angenommene Bedeutung der Incrustationen sprechen, nicht vereinigen. Die Eigenschaften der Membranen müssen nunmehr folgendermassen formulirt werden.

- 523 4) Die vegetabilischen Zellmembranen bestehen in vielen Fällen nachweisbar aus zwei isomeren, innig mit einander gemengten Bestandtheilen von ungleicher Löslichkeit. Die eine derselben wird zuweilen schon in kaltem Wasser, noch leichter in kochendem Wasser ausgezogen und kann aus der Lösung durch Iod und Iodwasserstoffsäure als blauer oder blaugrüner Niederschlag gefällt werden. So verhalten sich z. B. die Samenlappen von *Hymenaea Courbaril*, *Mucuna* und andern Gattungen, desgleichen die Gonidienmembranen von *Phylliscum*. In andern Fällen ist die Einwirkung einer verdünnten Säure erforderlich, um den leichter löslichen Bestandtheil auszuziehen, so z. B. bei den Flechtenschläuchen, denen durch verdünnte Salzsäure der mit wässriger Iodlösung sich bläuende Theil entzogen wird. Es scheint überhaupt eine allgemeine Eigenschaft der Membranen zu sein, dass sie einen Theil ihrer Substanz an Lösungsmittel abgeben, welchen der andere Theil widersteht.

Die mikrochemische Untersuchung der die Zellmembran zusammensetzenden Substanzen wird durch diesen Umstand bedeutend erschwert; denn da die isomeren Bestandtheile, welche die organische Grundlage bilden, nur wenig von einander verschieden sind, so kann der leichter lösliche nur durch lange, viele Wochen und Monate dauernde Einwirkung eines schwachen Lösungsmittels entfernt werden und der Erfolg dieser Einwirkung muss von Zeit zu Zeit an kleinen Proben, die man unter das Mikroskop bringt, geprüft werden, bis endlich keine Veränderungen mehr eintreten. Unterlässt man diese Procedur, so ist bei dem wechselnden Verhältniss zwischen leichter und schwerer löslichen Bestandtheilen, verbunden mit der Verschiedenartigkeit der fremden Einlagerungen, eine solche Mannigfaltigkeit der Erscheinungen denkbar, dass bestimmte Folgerungen in Betreff der chemischen Zusammensetzung, wie sie Schleiden und Frémy *) gezogen haben, sich aus dem Verhalten der Gemenge gegen

*) Frémy gelangte durch eine Reihe von Untersuchungen, deren Resultate er im Jahre 1859 der Akademie der Wissenschaften in Paris vorlegte und gleichzeitig im »Journal de Pharmacie et de Chimie« (t. XXXVI p. 6) zusammenstellte, zu dem Schluss, dass die verschiedenen Gewebe der Hölzer aus ebenso vielen chemisch verschiedenen und durch ihre ungleiche Löslichkeit vollständig isolirbaren Substanzen bestehen, deren Namen, Vorkommen und Eigenschaften er folgendermaassen feststellte.

- 1) Cellulose, unmittelbar löslich in Kupferoxydammoniak, löslich in concentrirter Schwefelsäure und in concentrirter kochender Kalilauge; bildet die Zellmembranen der Früchte, fleischigen Wurzeln, Bastfasern etc.
- 2) Paracellulose, löslich in concentrirter Schwefelsäure und in concentrirter kochender Kalilauge, unlöslich in Kupferoxydammoniak, wird in diesem letztern Reagens löslich durch vorhergehende Behandlung mit Säuren und Alkalien, sowie durch feuchte und trockene Wärme; bildet die Membranen des Markes und der Markstrahlen.
- 3) Fibrose, unlöslich in Kupferoxydammoniak und in concentrirter kochender

kräftige Reagentien, man mag es nun mit ganzen Gewebepartieen oder bloss mit Membranschichten zu thun haben, nicht mehr ableiten lassen oder wenigstens nicht durch zwingende Gründe unterstützt werden.

2) Die ungleiche Löslichkeit der Zellmembranen in den verschiedenen Lösungsmitteln kann nicht wohl auf Rechnung der eingelagerten Substanzen geschrieben werden, da die festern Zellmembranen (z. B. Tannenholz, Baumwolle etc.) auch nach der sogenannten Reinigung durch Säuren und Alkalien immer noch unlöslicher sind als manche andern, die keinerlei vorläufige Behandlung erfahren haben, und da umgekehrt die weichen und jedenfalls nicht stark incrustirten Membranen der Gallertflechten dem Kupferoxydammoniak widerstehen, während die meisten Holz- und Bastzellen der höhern Pflanzen sich darin lösen. Es ist wahrscheinlicher, dass hier die Micellarconstitution den Ausschlag giebt, und zwar im Allgemeinen in dem Sinn, dass wasserreichere Membranen, welche kleine Micellen besitzen, sich leichter lösen als die festen. Die letztern können zwar durch geeignete Mittel in einen löslichen Zustand übergeführt werden; allein sie quellen dabei so stark auf, dass sie die Weichheit einer wasserreichern Substanz annehmen, was natürlich eine entsprechende Veränderung der Micellarstructur voraussetzt. Daraus folgt, dass verschiedene Substanzen organisirter Gebilde nur dann eine Vergleichung zulassen, wenn sie annähernd gleiche Dichtigkeit oder Festigkeit besitzen.

Kalilauge, löslich in concentrirter Schwefelsäure; bildet die Membranen der Holzzellen, der Pilzgewebe etc.

NB. Cellulose, Paracellulose und Fibrose bilden nach Frémy die Cellulosegewebe; sie haben sämmtlich die procentische Zusammensetzung der Kohlenhydrate und färben sich mit Iod und Schwefelsäure blau.

- 4) *Vasculose*, unlöslich in concentrirter Schwefelsäure (oder Salzsäure) und in Kupferoxydammoniak, löslich in concentrirter kochender Kalilauge; bildet die Membranen der Gefässe.
- 5) *Pectose*, bildet mit Kupferoxydammoniak (welches die einhüllenden Cellulosemembranen löst) pectinsaures Kupferoxyd und geht durch Säuren in Pectin über; findet sich in Früchten und Wurzeln.
- 6) *Cutine*, unlöslich in concentrirter Schwefelsäure und in Kupferoxydammoniak, verseift sich mit den Alkalien wie ein echtes Fett; bildet die cuticularisirten Schichten der Epidermis.

Dass diese Eintheilung Frémy's in der Hauptsache eine durchaus unhaltbare ist, geht schon aus dem Umstande hervor, dass die Differenzen zwischen gleichnamigen Gebilden, wie z. B. zwischen Gefäss und Gefäss oft weit grösser sind, als diejenigen zwischen Holzzelle und Holzgefäss, die angeblich aus zwei verschiedenen Substanzen bestehen. Die Gefässe fleischiger Wurzeln lösen sich, wenn man sie vorher mit Kalilauge und verdünnter Salzsäure behandelt, vollständig in Kupferoxydammoniak, während die Gefässe der Hölzer diesem Reagens Widerstand leisten. Erstere verhalten sich wie Paracellulose, nicht wie Vasculose. Aehnliche Unterschiede bestehen auch zwischen Holzzellen und Holzzellen, desgleichen zwischen den Markstrahlen krautartiger und holzartiger Pflanzen, und zwar in verschiedenen Abstufungen, — der niedern Gewächse, welche für sich allein die mannigfaltigsten Verhältnisse darbieten, nicht zu gedenken.

Uebrigens ist selbst bei den Hölzern, welche Frémy speziell untersuchte, eine Trennung der Markstrahlen vom Gewebe der Holzzellen in der angegebenen Weise nicht möglich, und auch in andern Punkten hat die Wiederholung der Frémy'schen Versuche wesentlich abweichende Resultate geliefert. (Vgl. Kabsch, Untersuchungen über die chemische Beschaffenheit der Pflanzengewebe; Pringsheim's Jahrb. III.)

524 3) Die Substanz der Zellmembranen (mit Ausschluss der Flechtenschläuche) wird durch Iod und Wasser allein nicht gebläut, sondern entweder gelblich, braungelb bis roth oder auch gar nicht gefärbt. Bei gleichzeitiger Einwirkung einer geringen Menge von Iodwasserstoffsäure oder eines Iodmetalls erfolgt blaue Färbung, indess steigende Mengen dieser Verbindungen einen violetten, rothen oder gelben Ton bedingen. Ebenso wird die Blaufärbung durch Schwefelsäure und Phosphorsäure vermittelt; es ist indess zweifelhaft, ob diese Säuren einen directen Einfluss üben oder ob sich unter ihrer Mitwirkung erst Iodwasserstoffsäure bildet, sei es durch Zersetzung des Alkohols im Reagens oder irgend einer organischen Verbindung im Präparat. Ob Chlorzink einen ähnlichen directen oder indirecten Einfluss übe, bleibt dahingestellt; jedenfalls wirkt die sogenannte Chlorzinkiodlösung vorzugsweise vermöge ihres Iodzink- und Iodkaliumgehaltes.

Die entgegengesetzten Angaben früherer Beobachter in Betreff der Blaufärbung mit Wasser und Iod finden ihre Erklärung darin, dass dieselben entweder ältere Iodtinctur gebrauchten, in welcher sich bereits Iodwasserstoffsäure gebildet hatte, oder bei Anwendung reiner Iodlösung die Bildung dieser Säure auf dem Objectträger veranlassten.

Was die Natur der Einwirkungen anbelangt, welche die genannten Säuren und Iodverbindungen ausüben, so sind dieselben nicht etwa als chemische und physikalische Veränderungen zu deuten, welche möglicherweise in der Membran stattfinden; denn es ist unter allen Umständen nothwendige Bedingung der Blaufärbung, dass die genannten Stoffe nicht bloss eingewirkt haben, sondern bei der Einlagerung von Iod anwesend seien. Wäscht man die mit Schwefelsäure oder Iodwasserstoffsäure etc. behandelten Membranen sorgfältig mit Wasser aus, so färben sie sich in reiner Iodlösung nicht mehr blau. Auch ist bekannt, dass beliebige andere Quellungsmittel als specifisch bläuende, wie z. B. Salzsäure, Salpetersäure, Kupferoxydammoniak etc., die erwähnte Iodreaction nicht vermitteln.

525 4) Die gelbe oder braungelbe Färbung, welche das Iod in manchen Membranen hervorruft, ist der Membransubstanz eigenthümlich; sie wird nicht etwa durch eingelagerte Proteinverbindungen bedingt. — Dieser Satz ergiebt sich aus der Thatsache, dass viele Membranen (z. B. auf Längsschnitten von Begoniastengeln), in denen auf anderem Wege keine eiweissartigen Verbindungen nachgewiesen werden können, sich mit Iod sogar schöner und intensiver gelb oder braungelb färben, als das in den Zellen enthaltene Plasma.

5) Bezüglich des Farbentons, welchen die Einlagerung von Iod unter bestimmten Verhältnissen hervorruft, gelten die nämlichen Gesetze, wie für die Stärke. Die Menge des eingelagerten Iod bedingt auch hier im Allgemeinen nicht den Character, sondern nur die Intensität der Farbe; man kann jeden Ton (Gelb, Orange, Roth, Violett, Blau) durch wenig Iod hell,

durch eine grössere Menge intensiv erhalten. Ein Farbenwechsel tritt nur ein, wenn während der Einwirkung von Iod sich Iodwasserstoffsäure bildet, oder wenn die Membran aus einer Mischung von zwei Stoffen besteht, von denen der eine das Iod mit blauer, der andere etwas später mit gelber Farbe einlagert. Im erstern Falle kann der gelbe Ton in der Richtung nach Blau, in letzterm in der Richtung nach Braun verändert werden, wie man diess z. B. an Flechtenschläuchen sehr schön beobachtet. Trockene Membranen werden durch Ioddämpfe ohne Ausnahme gelb bis schwarzbraun gefärbt, sie mögen sich im befeuchteten Zustande noch so verschieden verhalten.

6) Die Entfärbung der mit Iod gefärbten Membranen ist wie bei der Stärke mit einem mehr oder minder deutlichen Farbenwechsel verbunden, welcher in der Richtung von Blau durch Roth nach Gelb erfolgt; blaue Membranen können ihre Farbe am meisten, gelbe gar nicht verändern; die geringste Veränderung beobachtet man an feuchten, die grösste an trockenen Membranen. Dabei ist jedoch vorausgesetzt, dass während der Entfärbung weder ein Austrocknen des feuchten, noch ein Benetzen des trockenen Präparates stattfindet.

7) Das Austrocknen einer mit Wasser imbibirten, durch Iod gefärbten Membran bewirkt an und für sich keine Farbenveränderung; wenn aber im Imbibitionswasser eine Substanz gelöst ist, die beim Verdunsten concentrirt wird, so kann dieser Umstand, wie bei der Stärke, eine andere Anlagerung der Iodtheilchen und dadurch einen Farbenwechsel bedingen.

Die Regeln, welche sich aus den vorstehenden Sätzen für die Untersuchungsmethode ergeben, liegen eigentlich schon in den Sätzen selbst; doch dürfte es zweckmässig sein, einige Punkte noch besonders hervorzuheben. Zunächst ist zu unterscheiden, ob eine Membran durch die angewendeten Reagentien eine chemische oder physikalische Veränderung erfahre, d. h. ob sie nach dem Auswaschen des Lösungs- oder Quellungsmitteis sich anders verhalte als vorher. Findet eine Structurveränderung statt, indem z. B. die aufgequollene Substanz auch nach dem Auswaschen gequollen bleibt, so ist es nicht gestattet, ein abweichendes Verhalten bloss auf Rechnung der »Reinigung« zu schreiben, welche allfällig durch Entfernung gewisser Einlagerungen erzielt wurde. Die beliebte Unterscheidung von Holzstoff und Zellstoff (vgl. Schacht, Mikr. p. 95), wovon der erstere in Kali und Salpetersäure löslich sein soll (weil diese Reagentien die Zellstoffreaction vermitteln), entbehrt demnach einer thatsächlichen Begründung. Ueberhaupt kann das Kochen in starken Säuren oder Alkalien, da es stets mit einer bleibenden Quellung verbunden ist, nicht als eine blosser Reinigungsprocedur betrachtet werden. Wo es darauf ankommt, lösliche Substanzen auszuziehen, ohne die zurückbleibenden unlöslichen zu verändern, darf folglich das gedachte Verfahren nicht einge-

schlagen werden; die Lösung muss vielmehr durch möglichst langsame Einwirkung eines schwachen Reagens erfolgen.

In zweiter Linie ist zu berücksichtigen, dass wirkliche Unterschiede in der Löslichkeit a priori eine doppelte Erklärung zulassen. Am nächsten liegt natürlich die Annahme einer chemischen Verschiedenheit; allein es ist ebenso gut möglich, dass eine chemische Verbindung in verschiedenen, durch ungleiche Micellarstruktur bedingten Modificationen vorkomme, die in einander umgewandelt werden können und von denen eine löslich ist, wie diess bei der Stärke wahrscheinlich statt hat.

Bei Anwendung der Iodreaction endlich ist vor Allem auf Reinheit der Reagentien zu achten. Wo es gilt, die Färbung einer Membran durch Iod genau zu beobachten, thut man daher am besten, die Lösung auf dem Objectträger selbst zu bereiten, indem man reines metallisches Iod an den Rand des Deckgläschens oder zwischen die Objecte bringt. Auch ist es rathsam, das Experiment der Vergleichung wegen auch an solchen Präparaten zu wiederholen, welche vorher mit destillirtem Wasser ausgewaschen wurden, und die Einwirkung vom ersten Momente an zu beobachten. Tritt die Färbung bei hinreichender Concentration erst nach einiger Zeit ein, so ist zu vermuthen, dass sich unterdessen Iodverbindungen (gewöhnlich Iodwasserstoffsäure) gebildet haben, welche dieselbe vermitteln.

Will man das Iod auf die trockene Membran einwirken lassen, so lässt man dieselbe einige Zeit in einer Atmosphäre von Ioddämpfen liegen oder bringt sie in eine Lösung von Iod in absolutem Alkohol, in aetherischem Oel oder in concentrirtem Glycerin. Die Einlagerung von Iod geschieht übrigens unter diesen Verhältnissen immer sehr langsam, so dass die Oberfläche dicker Membranen oft schon intensiv gefärbt erscheint, indess das Innere noch farblos ist.

527 Die hauptsächlichsten Verschiedenheiten, welche das Verhalten der Zellmembranen darbietet, findet man in folgender Zusammenstellung angegeben, welche dem Anfänger zugleich die zur Anstellung eigener Beobachtungen nöthige Uebersicht bieten wird.

*) Löslichkeitsverhältnisse.

- 1) In kaltem Wasser stark aufquellend, in kochendem verschwindend, d. h. wenigstens scheinbar gelöst.

Pflanzenschleim, wie z. B. die Verdickungsschichten der Samenhautzellen von *Cydonia vulgaris*, *Linum usitatissimum* etc., desgleichen der Schleim der Cacteen, der Salepknollen etc.

- 2) Löslich in concentrirter Schwefelsäure und in Kupferoxydammoniak.

Baumwolle, Bastfasern, Perisperm von *Phytelephas* (mehrfach bestätigt); desgleichen nach Frémy das Zellgewebe der Früchte und Wurzeln, welche Angabe jedoch von Kabsch (Pringsh. Jahrb. III) bezüglich des Kupferoxydammoniaks dahin

gedeutet wird, dass Frémy die Intercellularsubstanz für die wahre Zellmembran gehalten habe. Das angebliche Pectosegewebe Frémy's würde hienach von den innern Membranschichten, insbesondere von der dem Kupferoxydammoniak am meisten widerstehenden »primären Membran« gebildet. Uebrigens soll auch die Intercellularsubstanz sich nicht lösen, sondern bloss mehr oder weniger stark aufquellen.

- 3) Löslich in concentrirter Schwefelsäure, unlöslich in Kupferoxydammoniak, wird in diesem letztern Reagens löslich durch vorhergehende Behandlung mit Säuren und Alkalien, sowie durch feuchte und trockene Wärme (Frémy).*)

Mark und Markstrahlen der Hölzer.

- 4) Löslich in concentrirter Schwefelsäure, unlöslich in Kupferoxydammoniak, wird in diesem letztern Reagens löslich durch Behandlung mit der Schulze'schen Flüssigkeit.

Holzzellen von Pinus, Quercus, Taxus, porös-verdickte Zellen der Birnen und im Marke von Hoya carnosa, Bastzellen der Chinarinde, Spiralfasern aus Mamillaria quadrispina etc., desgleichen Pilz- und Flechtengewebe.

- 5) Unlöslich in concentrirter Schwefelsäure und in Kupferoxydammoniak, löslich in concentrirter kochender Kalilauge (Frémy).**)

Cuticula und Gefässmembranen (Frémy's Cutine und Vasculose).

**) Bläuung mit Iod.

- 1) Färben sich durch Iod und Wasser allein blau. Flechtenschläuche.
- 2) Färben sich durch Iod und Wasser allein nicht, sondern nur unter Mitwirkung einer Iodverbindung oder von concentrirter Schwefelsäure.

a) Bläuung tritt ein, nachdem das Präparat einige Zeit in reiner Iodlösung gelegen, wobei die Flüssigkeit, wahrscheinlich in Folge der Bildung von IH , eine saure Reaction annimmt.

Samenlappen von Hymenaea Courbaril, Mucuna urens; Sameneiweiss von Gladiolus, Iris, Androsace, Cyclamen.

*) Frémy behandelte das Präparat mit Salzsäure in allmählig steigender Concentration, zuletzt mit rauchender; oder er kochte dasselbe 24 Stunden lang in Wasser, oder setzte es mehrere Stunden lang einer trockenen Wärme von 150° aus. Kabsch, welcher diese Versuche wiederholte, fand übrigens auch hier abweichende Resultate, und hebt namentlich hervor, dass zwischen Mark und Markstrahlen ebenso bedeutende Verschiedenheiten bestehen, wie zwischen den Membranen der übrigen Gewebe.

**) Auch diese Angaben Frémy's stehen in Betreff der Einwirkung der Kalilauge mit den Beobachtungen von Kabsch im Widerspruch. Hienach würden nämlich die Gefässmembranen durch concentrirte kochende Kalilauge höchstens theilweise gelöst. Es will uns jedoch scheinen, die an den Seitenwandungen zurückgebliebenen »unregelmässig zerschlitzten Reste der Gefässmembran« sprechen weit eher zu Gunsten ihrer Löslichkeit, da eine Trennung der löslichen und unlöslichen Bestandtheile in der hier angedeuteten Weise nicht wohl anzunehmen ist.

- b) Bläuung tritt ein nach ein- oder mehrmaligem Eintrocknen mit reiner Iodlösung, wobei sich ebenfalls Iodwasserstoffsäure bildet, oder auch nach längerer Einwirkung einer hinreichend concentrirten Iodwasserstoffsäure, die man direct zusetzt.

Dünnwandiges Rindenparenchym der meisten Pflanzen (s. Mohl, Verm. Schriften p. 344):

- c) Bläuung tritt ein bei gleichzeitiger Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure.

Aeltere Parenchymzellen, innerer Theil der verdickten Holzzellen von Pinus und Abies, Bastfasern des Hanfes.

- 3) Zeigen die unter 2) angegebene Reaction erst nach vorhergegangener Behandlung mit Salpetersäure.

Alle Elementarorgane im Innern der Pflanzen, welche sich mit Iod und Schwefelsäure allein nicht blau färben, wie z. B. die äussern Membranschichten der Holzzellen und Gefässe, die braunen Zellen im Umkreis der Gefässbündel bei Farren etc.

- 4) Zeigen die unter 2) angegebene Reaction erst nach vorhergegangennem Kochen in Kali.

Kork, Epidermis, Periderm.

***) Verhalten gegen Kupferoxydammoniak.

- 4) Die Membranen zeigen weder Färbung noch Quellung.

Oscillatoria viridis Vauch. (Weiss und Wiesner^{*)}), manche einzellige Algen (Cramer), viele Flechten (Schwenderer); ferner der Kork und die Zellstoffkeulen der Epidermiszellen von *Ficus elastica* (Cramer, im Widerspruch mit Weiss und Wiesner, welche hier Bläuung angeben).

- 2) Die Membranen färben sich, ohne zu quellen, etwas intensiver blau, als das umgebende Reagens.

Hüllhäute von *Gloeocapsa opaca* Näg. und *Gloeocystis vesiculosa* Näg., Membranen von *Caulerpa prolifera*, *Callithamnion Plumula* (Cramer); ferner die Membranen von *Fucus vesiculosus*, *Echinoceras Hystrix*, sowie der Holzzellen von *Taxus baccata*, *Quercus* und *Pinus* (Cramer, im Widerspruche mit Weiss und Wiesner, welche hier Bläuung mit Quellung angeben).

- 3) Das Reagens bewirkt zuerst Bläuung und hierauf eine deutliche, oft sehr starke Quellung.

Die meisten Algen, sehr schön z. B. *Cladophora fracta* Ktz. *C. congesta* Zan. *Conferva breviarticulata* Zan. (Weiss und Wiesner); ferner nach denselben Beobachtern (z. Th. im

^{*)} Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. XLIV. 2. Abth.

Widerspruch mit Cramer): *Callithamnion abbreviatum* Ktz. *C. corymbiferum* Ktz. *Fucus vesiculosus*, *Gracillaria compressa*, *Stilophora papillosa* u. a.; desgleichen unter den Phanerogamen die Holzzellen von *Taxus baccata*, *Pinus Cembra*, *Larix europaea*, *Pinus Picea*, *Acer Pseudoplatanus*, *Vitis vinifera* etc., und ebenso alle untersuchten Parenchymzellen und Epidermiszellen (die Cuticula und die cuticularisirten Schichten färben sich mattgelb).

4) Das Reagens bewirkt Quellung und zuletzt Lösung.

Baumwolle, Bastfasern, Perisperm von *Phytelephas* (Cramer); Zellgewebe der Früchte und Wurzeln (Frémy, im Widerspruch mit Kabach, welcher bloss Quellung beobachtete).

7. Proteinverbindungen.

Auf das in den Lehrbüchern erwähnte Verhalten der Proteinverbindungen gegen Salpetersäure, Schwefelsäure in Verbindung mit Zucker, gegen das Millon'sche Reagens etc. gründen sich ebenso viele mikrochemische Prüfungsmethoden, als charakteristische Farbenreactionen der genannten Stoffe bekannt sind. Diese Methoden führen indess zu nicht ganz übereinstimmenden Ergebnissen, d. h. die Abgrenzung der Proteinstoffe in mikroskopischen Präparaten fällt verschieden aus, je nachdem man dieselben mit dem einen oder mit dem andern Reagens prüft. Die sogleich zu erwähnende violette Reaction, welche Kupfervitriol mit Kali hervorruft, tritt z. B. in den Zellen des gestreckten Parenchyms nicht mehr ein, ob-
528 schon dieselben nach wie vor ein mit Iod sich gelb färbendes Plasma enthalten. Daraus folgt aber, dass entweder dieses Plasma kein Proteinstoff mehr ist oder dass die erwähnte Reaction nur bestimmte Modificationen der Proteinstoffe charakterisirt. Das Eine wie das Andere ist möglich. Zu der nämlichen Alternative führen auch die übrigen Reagentien; ausserdem kommt bei einigen noch der weitere Uebelstand hinzu, dass sie in gleicher Weise auch auf Stoffe reagiren, welche entschieden keine Proteinstoffe sind.

Unter diesen Umständen kann von einem zuverlässigen Reagens auf Proteinverbindungen eigentlich nicht die Rede sein. Man wird je nach Umständen bald dem einen, bald dem andern den Vorzug geben und nöthigenfalls mehrere Reactionen combiniren, um in der Deutung der beobachteten Thatsachen möglichst sicher zu gehen.

Eine für manche Untersuchungen (z. B. über Stoffwanderungen) sehr
529 empfehlenswerthe Methode, Proteinverbindungen in den Zellen nachzuweisen, besteht in der Behandlung derselben mit Kupfervitriol und Kali, ganz so wie es oben bei Besprechung der Zucker- und Dextrinprobe ausführlich erörtert wurde. Die Gegenwart der Proteinverbindungen giebt sich hiebei im gelösten Zustande dadurch zu erkennen, dass der wässrige

Zellinhalt, ohne sich zu trüben, eine schön violette Färbung annimmt, und ebenso im ungelösten Zustande durch eine gleiche Färbung der Substanz. Alle Stoffe aus der Gruppe der eiweissartigen Verbindungen, soweit sie makrochemisch näher bekannt sind, verhalten sich in dieser Hinsicht, den Untersuchungen von Piotrowsky und Czermak zufolge, vollkommen gleich; Hühnereiweiss, Casein, Legumin aus Bohnen, Kleber aus Getreidekörnern geben sämmtlich dieselbe violette Reaction. Die übrigen stickstoffhaltigen Verbindungen, desgleichen die Kohlenhydrate, reagiren dagegen nicht oder in deutlich verschiedener Weise.

In diesem letztern Umstande liegt der Hauptvorzug des gedachten Verfahrens vor den meisten andern, durch welche man sonst die eiweissartigen Stoffe nachzuweisen pflegt. Die bekannte Iodreaction ist nicht bloss bei allen stickstoffhaltigen Verbindungen ungefähr dieselbe, das Iod färbt auch gewisse Cellulosearten, wie bereits oben erwähnt, ebenso intensiv braun-gelb, als das in den Zellen enthaltene Plasma. Das Nämliche gilt von der Salpetersäure; die gelbe Färbung, welche die mit starker Säure behandelten Proteinverbindungen charakterisiren soll, tritt hie und da auch in den Membranen fast ebenso deutlich hervor, ohne dass eine Einlagerung von Proteinsubstanzen auf irgend eine andere Weise nachweisbar wäre. Die Salpetersäure wird überdiess nur zum Nachweis von eiweissartigen Verbindungen, die sich im festen Zustande befinden, empfohlen; in Lösungen wird der gelbe Ton durch den vorwiegenden Wassergehalt leicht bis zur Unmerklichkeit abgeschwächt. *)

Ein drittes Reagens, bestehend in Zuckersolution und concentrirter Schwefelsäure, entspricht zwar den Anforderungen in Bezug auf Empfindlichkeit besser; man erhält, wenn man das Präparat mit starker Zuckerlösung benetzt und hierauf die Säure zufließen lässt, auch in ziemlich verdünnten Lösungen einen röthlichen Ton. Allein es ist wahrscheinlich, dass die nämliche oder wenigstens eine sehr ähnliche Farbenveränderung auch bei manchen andern Substanzen eintritt, die nicht zur Gruppe der Proteinverbindungen gehören, ja nicht einmal stickstoffhaltig sind. Wir erinnern in diesem Betreff an die bekannte Reaction des Salicin und an die nahekommende des von Hartig entdeckten Abietin (im Camdialsafte der Tannen). Böhm**) will sogar gefunden haben, dass die Färbung der Zellmembran oder des Zellinhaltes mit Schwefelsäure und Zucker

*) Hartig (Mikr. p. 474), welcher die Reaction von Kupfervitriol und Kali nicht kannte, giebt der Salpetersäure als Reagens auf ungelöste Proteinverbindungen den Vorzug. Er empfiehlt die Ernährungsflüssigkeit, welche namentlich bei thierischen Geweben immer Proteinverbindungen enthält, vorerst durch sorgfältiges Auswaschen des Präparates zu entfernen und die Salpetersäure nur auf die zurückbleibenden gereinigten Elementartheile einwirken zu lassen. Wenn alsdann in den isolirt daliegenden Fasern eine gelbe Färbung hervortrete, die beim Zusatz von Alkalien noch zunehme, so sei man sicher, dass Protein zu den Bestandtheilen der Fasern selbst gehöre.

**) Beiträge zur nähern Kenntniss der Genesis und Function von Pflanzen-Farbstoffen. Sitzgsber. der kais. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. XLV. 2. Abth. p. 399.

(oder mit Chlorwasserstoffsäure) überhaupt nicht durch Eiweisssubstanzen, sondern durch Chromogene oder Farbstoffe bedingt werde.

Was endlich das Millon'sche Reagens betrifft, welches die Protein-substanzen im gelösten wie ungelösten Zustande ziegelroth färbt, besonders wenn das Präparat erhitzt wird, so leidet dasselbe, wie die Salpetersäure, an zu geringer Empfindlichkeit, wodurch es namentlich bei Lösungen unzuverlässig wird.

Die nähern Eigenschaften der verschiedenen gelösten und ungelösten 530 Proteinverbindungen sind zur Zeit noch viel zu wenig erforscht, als dass eine Scheidung derselben unter dem Mikroskop ausführbar wäre. Der Beobachter stösst sogar hie und da auf Erscheinungen, welche — obschon sie wahrscheinlich nur von Proteinverbindungen herrühren — mit den Angaben, die man hierüber in den chemischen Lehrbüchern findet, in directem Widerspruch stehen. Dahin gehören z. B. die Niederschläge, welche zuweilen im wässerigen Zellsaft auf Zusatz von Ammoniak oder Kali entstehen, desgleichen die Differenzen im Verhalten des Plasmas gegen Kali und andere Lösungsmittel.

Unter diesen Verhältnissen erachten wir es für zweckmässig, die Resultate einer neuern Arbeit von Günsberg*), soweit sie dem Mikroskopiker als Fingerzeige dienen können, hier im Auszuge mitzutheilen.

Wird eine durch Kochen des rohen Klebers mit Weingeist erhaltene klare Lösung des Gliadins oder Pflanzenleims auf dem Wasserbade zur Trockne gebracht, so giebt diese trockene Masse an kaltes Wasser einen dunkelbraun gefärbten stickstoff- und schwefelhaltigen Körper ab, welcher nach genauen Analysen vollkommen identisch ist mit der in kaltem Wasser löslichen Substanz, die man direct durch Kochen des Klebers mit Wasser erhält. Ebenso ist auch der in kaltem Wasser unlösliche, in kochendem lösliche Theil des Gliadins identisch mit einem leimartigen Körper, welcher aus dem durch Kochen des Klebers erhaltenen Auszug beim Erkalten sich ausscheidet. Es geht daraus hervor, dass diese braune Substanz ein Bestandtheil des Klebers ist und dass der Körper, der bis jetzt Pflanzenleim oder Gliadin genannt wurde, aus einem Gemenge zweier Substanzen besteht, welche sowohl in ihrem Verhalten als in ihrer Zusammensetzung ganz verschieden sind.

Das Verhalten des in kochendem Wasser löslichen, in kaltem unlöslichen leimartigen Körpers gegen chemische Reagentien ist in mancher Beziehung eigenthümlich, und es ist nicht unwahrscheinlich, dass die analogen Erscheinungen, die man unter dem Mikroskop beobachtet, hierin ihre Erklärung finden. Wir heben folgende Punkte hervor.

1) Schwach angesäuertes Wasser, das kaum sauer reagirt, löst den

*) Ueber die in Wasser löslichen Bestandtheile des Weizenklebers. Sitzungsberichte der kais. Akad. der Wiss. in Wien. Bd. XLIV. 2. Abth.

Körper mit Leichtigkeit, ohne dass die Säure neutralisirt wird. Durch Zusatz von nur etwas mehr Säure entsteht in der Lösung eine starke Trübung, welche bei Zusatz von mehr Säure wieder verschwindet. Ein ähnliches Verhalten zeigt dieser Körper auch gegen Alkalien.

2) Mit concentrirter Schwefelsäure und Zucker in Berührung färbt sich der Körper nicht violett, er löst sich aber allmählig, und in dem Maasse als er sich löst färbt sich die Flüssigkeit rosenroth und nach vollständiger Lösung dunkel violettroth.

3) Galläpfelinfusion bringt in der Lösung einen schmutzig bräunlich-gelben Niederschlag hervor, welcher in Säuren unlöslich, in Alkalien aber löslich ist.

4) Durch gelbes und rothes Blutlaugensalz wird die Lösung des Körpers in angesäuertem Wasser gefällt.

5) Sublimatlösung und die von salpetersaurem Quecksilberoxydul bringen weisse Niederschläge hervor.

Einige weitere Angaben über das Verhalten des Gliadins, deren Verwerthbarkeit für die mikroskopische Beobachtung jedoch erst zu prüfen wäre, findet man bei Ritthausen, die Eiweisskörper, p. 57.

VI.

Mikrochemische Processe.

531 Obschon die mikrochemischen Processe selbstverständlich nach denselben Gesetzen stattfinden wie die makrochemischen, und somit keine besondere Deutung verlangen, so bringt es doch die Kleinheit des Raumes und der Objecte, welche der mikroskopischen Untersuchung unterworfen werden, mit sich, dass man leichter als sonst in der Chemie Gefahr läuft, voreilige Schlüsse zu ziehen. Diess veranlasst uns, an einigen Beispielen zu zeigen, welcher Art die Verumständlungen sind, die bei mikrochemischen Processen besondere Beachtung verdienen.

Stärkebildung in den Chlorophyllkörnern. Bekanntlich entstehen unter der Mitwirkung des Lichtes kleine Stärkekörnchen im Chlorophyll, wo dieselben offenbar als unmittelbare Producte der Assimilation zu betrachten sind. Man geht aber häufig noch einen Schritt weiter, indem man annimmt, die Elementarbestandtheile der körnigen Stärke werden direct den in Lösung befindlichen unorganischen Nährstoffen (Kohlensäure und Wasser) entnommen, ohne dass hiebei ein gelöstes Kohlenhydrat oder irgend eine andere Verbindung als Mutterlauge zu fungiren hätte. Nun lässt sich aber leicht zeigen, dass gelöste Stärke nicht in die Stärkekörner eindringt und folglich bei den auf Intussusception beruhenden

Wachsthumsvorgängen sich nicht betheiligen kann. *) Es ist daher viel wahrscheinlicher, dass die Bildung von Zucker der Ausscheidung von Stärke in Körnerform vorausgeht. Die Unmöglichkeit, das Vorhandensein desselben im Chlorophyllkorn oder im Lumen der Zelle festzustellen, beweist hier offenbar Nichts. Hätten die Stärkekörner wirklich die ihnen zugedachte Fähigkeit, in ihrem Innern zu assimiliren, so wäre nicht einzusehen, was das grüne Plasma in der Umgebung derselben zu thun hat.

Wachsbildung. An der Oberfläche der Pflanzenorgane befindet sich **532** meistens ein Ueberzug von Wachs, welcher bei einer Temperatur von weniger als 100° schmilzt und durch kochenden Alkohol grösstentheils gelöst wird. Die äussere Form dieser Ueberzüge zeigt mannigfache Verschiedenheiten, indem das ausgeschiedene Wachs bald in einzelnen Körnchen, bald in Gestalt von Stäbchen, bald als continuirliche Schicht oder Kruste auftritt. Ausserdem ist Wachs häufig in den Membranen enthalten, welche dadurch cuticularisirt oder verkorkt werden. In kochendem Wasser tritt dasselbe aus den Schnittflächen tropfenweise hervor. Bezüglich der Art des Vorkommens, so findet sich das Wachs in den Membranen nie als Körnchen, sondern in mikroskopisch unsichtbaren Theilchen vor, welche zwischen die Cellulosemicellen eingelagert sind. Diess geht schon aus dem Verhalten der Membran auf Durchschnitten, welche selbst bei den stärksten Vergrösserungen homogen erscheinen, mit Sicherheit hervor. Das Verhalten der cuticularisirten Membranen im polarisirten Licht heweist ferner, dass diese kleinsten Theilchen krystallinische Micellen sind. Zerstört man diese letztern durch Kochen in Kalilauge, so reagirt die Membran chemisch und optisch wie Cellulose.

Die gewöhnliche Annahme, dass das Wachs von der Pflanzenzelle ausgeschieden werde, ist in buchstäblicher Bedeutung wohl nicht annehmbar. Denn einerseits kommt Wachs im Zelleninhalt niemals vor; andererseits mangelt ein Lösungsmittel, welches dasselbe durch den Plasmaschlauch und die unveränderten Schichten der Membran nach aussen führte.

Was den Wachsbildungsprocess innerhalb der Membran betrifft, so können hier die Wachsmicellen an die Stelle der Cellulosemicellen treten, indem die letztern unmittelbar durch Umlagerung der Atome in Wachs übergehen, oder indem sie vorher in Zucker übergeführt und gelöst werden. Das eine oder das andere findet wohl unzweifelhaft statt und liesse sich durch mikrometrische Messungen sicher feststellen, indem gezeigt würde, dass manche Cuticular- und Korkmembranen, ohne dicker zu werden, d. h. ohne ihr Volumen zu vermehren, die Cellulose zum Theil mit Wachs vertauscht haben.

Die Entstehungsweise der Wachsüberzüge auf der Oberfläche betreffend, bieten sich zwei wesentlich verschiedene Annahmen dar. Man

*) Walter Nägeli, Beitr. z. nähern Kenntniss d. Stärkegruppe p. 31 u. 32.
Nägeli u. Schwendener, Das Mikroskop. 2. Aufl.

könnte sich erstlich denken, dass — wie de Bary *) annimmt — Wachs aus den cuticularisirten Schichten heraustrete; allein dieser Annahme steht die Schwierigkeit entgegen, über den Transport von Wachs durch Membranschichten eine atomistisch befriedigende Vorstellung zu gewinnen. Eine andere Möglichkeit ist die, dass Zucker, den man sich aus dem Inhalt oder aus der Membran entstanden denken mag, an der Oberfläche in Wachs verwandelt wird.

- 533** In chemischer Hinsicht ist nach dem Gesagten die Wachsbildung, da hierbei eine sauerstoffarme Verbindung aus einem Kohlenhydrat entsteht, als Reductionsprozess aufzufassen. Diese Reduction tritt aber nur ein unter dem Einfluss von Sauerstoff. Demzufolge beginnt die Cuticularisirung in den oberflächlichen Schichten der Membran und schreitet allmählig zu den tiefer liegenden fort. Untergetauchten Organen mangelt Cuticularisirung und Verkorkung; dieselbe tritt aber sofort ein, sobald dieselben mit Luft in Berührung kommen. Ebenso wurde bereits oben darauf hingewiesen, dass die Schwärmsporen, wenn sie an die Oberfläche des Wassers kommen, an einer Stelle cuticularisirt werden und in Folge dessen durch Capillarkwirkung hängen bleiben. Das Nämliche geschieht bei den Hefezellen; auch diese bleiben an der Oberfläche nur haften, wenn sie dort mit sauerstoffhaltiger Luft in Berührung treten. Wird der Zutritt von Sauerstoff ausgeschlossen, so sinken sie wieder unter.

Der Wachsbildungsprozess findet ferner nur statt unter dem molecularen Einfluss lebender Membranschichten; todte Zellhäute bilden kein Wachs. Daher tritt auch bei der Bildung der oberflächlichen Wachsüberzüge der neue Zuwachs nicht an der Aussenseite, sondern stets nur an der Innenseite der bereits vorhandenen Schichten oder Stäbchen auf.

- 534** Ausscheidung der Oxalsäure. Man weiss, dass der oxalsäure Kalk in sehr verschiedenen Formen, welche sich auf mindestens zwei Krystallssysteme vertheilen, in vegetabilischen Geweben vorkommt. Es ist ferner nicht unwahrscheinlich, dass der Zweck, den die Oxalsäure im Ernährungsprozesse zu erfüllen hat, wesentlich darin liegt, den im Saft enthaltenen Kalk in unlöslicher Form auszuschcheiden und die damit verbundene Schwefelsäure behufs weiterer Verwerthung zu befreien. Jedenfalls ist die Ausscheidung der Oxalsäure ein Process, dessen Verlauf und dessen Beziehungen zum Leben grossentheils nur auf mikroskopischem Wege, unter Berücksichtigung der einschlägigen physiologischen und anatomischen Momente, festgestellt werden kann.

- 535** Eiweissstoffe und Asparagin. Nach den Untersuchungen von Pfeffer **) und Ritthausen ***) ist es kaum mehr zweifelhaft, dass der

*) Bot. Ztg. 1874.

**) Sitzungsber. d. Ges. z. Beförd. d. gesamt. Naturwiss. z. Marburg, Dec. 1874, p. 74—76. Ferner: Jahrb. f. wiss. Bot. VIII. p. 530.

***) Die Eiweisskörper p. 220.

grösste Theil der Eiweisskörper, welche in den Samen enthalten sind, während der Keimung unter Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlenstoff und etwas Wasserstoff in Asparagin übergeführt und später wieder in Eiweiss zurückverwandelt wird. Das Asparagin spielt hienach im Lebensprocess eine ähnliche Rolle, wie die Glycose; beides sind Formen oder Zustände, in welchen die aufgespeicherten Nährstoffe zu wandern pflegen. Für den Physiologen gewährt es demnach ein besonderes Interesse, die Eigenschaften des Asparagins zu studiren, um alsdann die Wanderung und die Reconstruction der Eiweissverbindungen unter dem Mikroskop Zelle für Zelle verfolgen zu können. Für den mikroskopischen Nachweis des Asparagins empfiehlt Pfeffer Zusatz von absolutem Alkohol, welcher dasselbe in charakteristischen Krystallformen niederschlägt. Bezüglich der Vorsichtsmaassregeln, die man hiebei zu beobachten hat, zumal bei geringen Mengen von Asparagin, verweisen wir auf die citirte Abhandlung in Pringsheim's Jahrbüchern.

Zehnter Abschnitt.

M o r p h o l o g i e.

536 Zur Morphologie im weitern Sinne des Wortes gehört die ganze Lehre vom Aufbau der Organismen aus den Elementen, woraus sie bestehen, — von den Micellen, welche die Bausteine der Zellen bilden, bis hinauf zu den Einheiten der höchsten und letzten Ordnung, welche den vielfach gegliederten Bau der höhern Gewächse zusammensetzen. Die Morphologie hat zu ermitteln, unter welchen bestimmten Form- und Lagerungsverhältnissen die Micellen und Micellarschichten sich vereinigen, um die Zelle und deren Theile zu bilden und während des Wachstums weiter auszubauen; sie hat hierauf die Zelle als gegeben zu betrachten und zu untersuchen nach welchen Gesetzen die Vermehrung derselben erfolgt, wie gleichsam Zelle auf Zelle gesetzt wird, um die grossen Complexe zu bilden, die wir als Organe kennen; sie hat ferner die Differenzirungen zu verfolgen, welche in solchen Zellcomplexen nachträglich stattfinden, und endlich auch die Entwicklung neuer Organe aus schon vorhandenen, sowie die Natur und die Stellungsverhältnisse derselben in Betracht zu ziehen. Alle diese Verhältnisse sind ausschliesslich oder vorzugsweise Gegenstand mikroskopischer Untersuchung; wir erachten es demgemäss als unsere Aufgabe, die Methoden, welche beim Studium derselben zu beobachten sind, hier eingehend zu erörtern.

I.

Aufbau der organisirten Substanzen.

1. Stärkekörner und Zellmembranen.

a) Anatomie.

537 Ueber die Anordnung der Micellen in Schichten und Reihen, worauf es zunächst ankommt, geben uns die dem bewaffneten Auge sichtbaren

Schichten und Streifen, von denen bereits oben bei Besprechung der Quellungserscheinungen die Rede war, die zuverlässigsten Anhaltspunkte. Die Polarisationserscheinungen können nur da als Kriterium dienen, wo die Micellarreihen der optisch wirksamen Schichten sich rechtwinklig kreuzen, weil in jedem andern Falle eine bestimmte Beziehung zwischen den Elasticitätsaxen und der Richtung der Micellarreihen nicht besteht.

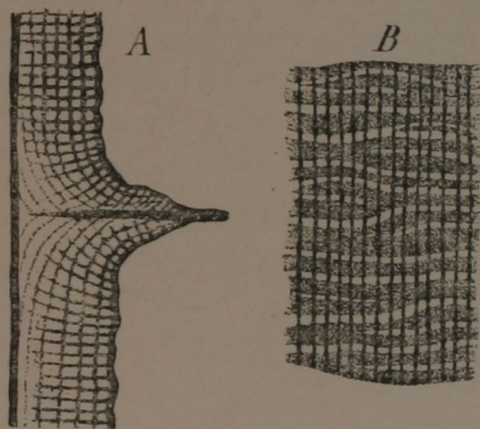
Da nun die Schichtung und Streifung auf der Abwechslung wasserreicher Substanz mit wasserarmer beruht, so besteht die nächste Aufgabe des Beobachters darin, diese Abwechslung möglichst deutlich zu machen und dieselbe auch in Fällen, wo sie unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht wahrnehmbar ist, nachzuweisen. Man erreicht diesen Zweck schon durch Zusatz eines mehr oder weniger concentrirten Quellungsmittels zu dem unveränderten Präparat. So zeigen z. B. viele Bastzellen, die in Wasser beinahe homogen erscheinen, nach der Einwirkung starker Säuren zahlreiche und deutliche Schichten, manche derselben auf Flächenansichten auch spiralförmige Streifung. Ebenso wird bei Stärkekörnern die in reinem Wasser undeutliche Schichtung in schwachen Säuren und Alkalien meist sichtbarer. Es ist überhaupt immer ein bestimmtes Quellungsstadium, in welchem der Gegensatz zwischen weicher und dichter Substanz sich am deutlichsten kundgibt.

In andern Fällen, namentlich bei stark verholzten Membranen, ist die Anwendung zweier oder auch mehrerer Reagentien nothwendig, um die feinen Streifensysteme zur Wahrnehmung zu bringen. Ein bei Holzzellen von *Abies*, *Pinus* u. a. zweckmässiges Verfahren ist folgendes. Man kocht die in grösserer Zahl angefertigten Schnitte in einem Reagensgläschen mit verdünnter Salpetersäure, bis die gelbe Färbung, welche das Präparat zuerst annimmt, wieder verschwunden ist. Die Zellen lassen sich in diesem Stadium, wenigstens bei dünnern Schnitten, leicht von einander trennen. Die Schnitte werden hierauf ausgewaschen oder sanft in der Flüssigkeit in eine Schale mit Wasser ausgegossen, dann einzeln oder zu mehreren auf den Objectträger gebracht und hier mit concentrirter Schwefelsäure behandelt. Es ist leicht, die letztere so zuzusetzen, dass das Präparat alle möglichen Uebergänge zwischen vollständiger Auflösung und beginnender Quellung zeigt. — Um den optischen Gegensatz zwischen dichten und weichen Streifen noch zu erhöhen, thut man gut, die mit Salpetersäure gekochten Zellen mit Iod zu färben, bevor man das Quellungsmittel zusetzt, indem durch die ungleiche Einlagerung der Iodtheilchen eine ungleiche Widerstandsfähigkeit der verschiedenen Streifen und eine ungleiche Intensität der Färbung bewirkt und dadurch der Contrast gesteigert wird.

Sind die Membranen gallertartig, wie bei den Epidermiszellen mancher Früchte und Samen, so thut man oft gut, dieselben mit Iodlösung eintrocknen zu lassen und hierauf die Quellung durch verdünnte Iodwasserstoffsäure hervorzurufen.

- 538** Nicht zu verwechseln mit der auf ungleichem Wassergehalt beruhenden Schichtung und Streifung der Membranen sind die oft ähnlich aussehenden Zeichnungen, welche durch wellenförmige Fältelungen oder durch Unebenheiten der Oberfläche hervorgerufen werden. Erstere sind bei aufgequollenen oder in Weingeist aufbewahrten Membranen, desgleichen bei gallertartigen, welche eingetrocknet waren und wieder aufgeweicht werden, eine häufige Erscheinung und hier offenbar Folge der ungleichmässigen Aufnahme oder Abgabe von Imbibitionsflüssigkeit. Eine Verwechslung derselben mit wahrer Streifung ist jedoch bei einiger Vorsicht leicht zu vermeiden, da die Falten bald im Querschnitt, bald im Längsschnitt, zuweilen auch auf beiden direct gesehen werden. Ebenso lassen sich auch die Unebenheiten der Oberfläche auf Durchschnitten direct beobachten und sind unter Umständen schon auf Flächenansichten daran zu erkennen, dass sie nur bei einer bestimmten Einstellung scharf hervortreten. Die von der Messerklinge herrührenden Streifungen der Schnittfläche, sowie die zarten Risse, welche beim Durchschneiden hornartiger Gewebe sich bilden, sind überdiess dadurch charakterisirt, dass sie über den ganzen Schnitt parallel verlaufen.

In Fig. 236 ist beispielsweise die Aussenwand der Epidermiszellen von *Hyacinthus orientalis* im Längsschnitt und in der Flächenansicht dargestellt.



Figur 236.

Der Längsschnitt (A) zeigt regelmässige, genau parallele und häufig gleich weit von einander entfernte Querstreifen, welche die Membranschichten rechtwinklig durchsetzen. Die letztern sind sehr zart, oft sogar weniger deutlich als die Streifen; nur die innerste Schicht erscheint vermöge ihrer grössern Dichtigkeit scharf abgegrenzt. Die Falten oder Kerben, welche diese Schicht zeigt, sind schon im frischen Zustande augenfällig, nach dem Austrocknen aber viel stärker; sie bedingen die in der

Flächenansicht (B) dargestellte Querstreifung. Die breiten dunkeln Streifen entsprechen den Erhabenheiten, die dazwischen liegenden hellen den Einkerbungen der Membranfläche. Rechtwinklig dazu verlaufen zarte Längsstreifen.

- 539** Der Verlauf der Schichten und Streifen, sowie die Art, wie sich die verschiedenen Systeme räumlich combiniren, verdienen besondere Beachtung. Was zunächst die Schichten betrifft, so sind dieselben von vorne herein als Lamellen zu betrachten, welche im Allgemeinen der Oberfläche der Complexe parallel gehen, und daher mit Bezug auf die ganze Zelle oder das ganze Korn als in einander geschachtelte Blasen oder

Blasenstücke; es kann sich also nur noch um die Frage handeln, wie sich bei ungleicher Zahl der Schichten auf den verschiedenen Radien des Systems die einen an die andern anschliessen, d. h. wie der Uebergang von einer geringern zu einer grössern Zahl von Schichten stattfindet. Die Frage ist erledigt, sobald es möglich ist, Verlauf und Ansicht der Schichten für jede einzelne derselben zu construiren, oder wenigstens in der Hauptsache richtig darzustellen.

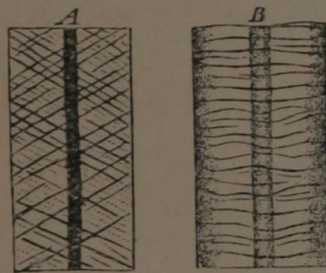
Bei den Streifen kommen dagegen noch andere Punkte von vorwiegender Bedeutung hinzu. Es fragt sich zunächst, ob die sich kreuzenden Streifensysteme, die wir an ganzen Membranen oder an Schichtencomplexen in der Flächenansicht wahrnehmen, in jeder einzelnen Schicht sich gegenseitig durchsetzen, oder ob die Streifen in der nämlichen Schicht nur nach einer Richtung, je in der vorhergehenden und folgenden aber nach der entgegengesetzten Richtung verlaufen und dadurch den Effect der Kreuzung hervorrufen.

Um diess zu entscheiden, genügt zuweilen schon die genaue Beobachtung der parketähnlichen Zeichnung, welche die Kreuzung bedingt, beim Höher- und Tieferstellen des Focus. Wenn hiebei die Seitenpaare der rhombischen oder rectangulären Felderchen bei der nämlichen Einstellung ihre grösste Deutlichkeit erreichen und bei Focusveränderungen gleichzeitig verschwinden und gleichzeitig wieder erscheinen, wenn sie überhaupt immer dasselbe Verhältniss der Deutlichkeit beibehalten, dann ist eine Uebereinanderlagerung abwechselnd nach rechts und links geneigter Schichten im höchsten Grade unwahrscheinlich, und in Fällen, wo die einzelnen Schichten im Durchschnitt sich verhältnissmässig dick erweisen und überdiess die Zeichnung nur in den dichten Schichten deutlich hervortritt, fast unmöglich. In diesem letztern Falle würde nämlich die Kreuzung durch zwei übereinander liegende dichte Schichten hervorgerufen, und es ist kaum denkbar, dass die dadurch bedingte Niveaudifferenz der sich kreuzenden Linien im Bilde nicht bemerkbar sei.

Grössere Sicherheit, als solche Flächenansichten, gewährt jedoch immer die Beobachtung der Streifen auf Durchschnitten senkrecht zur Membranfläche. Die Schnitte werden am besten so geführt, dass sie dem einen Streifensystem annähernd parallel gehen. Das andere erscheint alsdann als radiale Streifung, und wenn die Zeichnung nur einigermaassen deutlich ist, so lässt sich leicht beobachten, ob die einzelnen Streifen durchgehen und folglich allen Schichten angehören, oder ob nur je die zweite Schicht die fragliche Abwechslung von Hell und Dunkel zeige.

Auf die Fälle, in welchen grössere Schichtencomplexe, wie z. B. die innere und äussere Hälfte einer stark verdickten Membran, verschiedenläufige Streifungen zeigen, haben wir nicht nöthig, besonders aufmerksam zu machen, da die richtige Auffassung solcher Verhältnisse bei einiger Aufmerksamkeit keine Schwierigkeit macht.

540 Ein zweiter Punkt, den der Beobachter ins Auge zu fassen hat, ist die Art und Weise des Verlaufs. Es handelt sich darum, zu entscheiden, ob die einzelnen Streifen, sie mögen nun ein einziges oder zwei sich kreuzende Systeme bilden, spiralig verlaufen, oder ob sie quer oder schief gestellte Ringe bilden, indem jeder einzelne Streifen in seinem Verlaufe um die Zelle in sich selbst zurückkehrt. Die Beantwortung dieser Frage ist namentlich bei Zellen mit dicker Wandung und kleinem Lumen keineswegs leicht zu nennen; sie setzt jedenfalls voraus, dass man sich die Sache räumlich und perspectivisch klar vorstelle, genau beobachte und die Bilder, welche die verschiedenen Einstellungen gewähren, richtig combinire. Bestimmte Regeln hierüber lassen sich indess schon wegen der Mannigfaltigkeit der Fälle nicht wohl geben; es mag genügen, wenn wir in Fig. 237 ein Beispiel einer scheinbaren Spiralstreifung, die sich aber bei genauerer Untersuchung als Ringstreifung erweist, veranschaulichen.



Figur 237.

Die Figur stellt die mit Schwefelsäure behandelten Längsansichten dickwandiger Holzzellen von *Abies excelsa* dar. Die Streifung ist nur stellenweise deutlich. In A sind die beiden sich kreuzenden Systeme gleich gegen die Axe geneigt und gewähren auf den ersten Blick ganz den Eindruck von Spiralstreifen. In Wirklichkeit sind es aber aufrecht stehende Scheiben, welche sich in einer rechtwinklig zur Axe verlaufenden Linie durchschneiden und dem entsprechend ihre Lage zum Auge beim Drehen der Zelle verändern. Nach einer Viertels-Umdrehung erscheinen die Streifen rechtwinklig zur Axe gestellt und wegen der jetzt schiefen Lage der Scheiben sehr undeutlich (B); nach einer halben Umdrehung gelangt man wieder zu dem in A dargestellten Stellungsverhältniss. — Die Ringstreifen zeigen übrigens nicht immer die angedeutete symmetrische Anordnung. Sie können in der Art unsymmetrisch gestellt sein, dass man auf einmal nur ein Streifensystem deutlich im Profil sieht, indess das andere erst nach einer kleinen Drehung seine grösste Schärfe erreicht. Die beiden Systeme erscheinen alsdann nie parallel, sondern kreuzen sich immer noch unter einem kleinen Winkel.

541 Es kann endlich vorkommen, dass bei Untersuchung der Streifungen noch eine dritte Frage von mehr mathematischer Natur sich aufdrängt. Zuweilen beobachtet man nämlich, dass ausser den beiden sich kreuzenden Spiralsystemen, welche die Membranfläche zeigt, bei günstiger Spiegelstellung noch ein drittes System hervortritt, welches die Richtungen der beiden andern (von denen jedoch bei gleicher Spiegelstellung höchstens das eine bemerkbar ist) schiefwinklig schneidet. Die Vermuthung liegt alsdann nahe, es möchte dieses System, ähnlich wie bei *Pleurosigma angulatum*, eine optische Wirkung der nämlichen Areolen sein, welche die beiden

stärkern Systeme hervorrufen; allein es bleibt immerhin zu untersuchen, ob diese Vermuthung mit der Wirklichkeit übereinstimmt. Diess geschieht in folgender Weise.

Man misst die Winkel, welche je zwei der bemerkbaren Systeme unter sich bilden, desgleichen die Abstände zweier benachbarter Streifen in jedem System. Beides ist mit ziemlicher Annäherung möglich. Die Abstände seien für das 1., 2. und 3. System beziehungsweise a , b und c ; der Winkel zwischen System 1 und 2 sei $= \alpha$, zwischen 2 und 3 $= \beta$, zwischen 1 und 3 $= \gamma$. Dann bestehen unter der Voraussetzung, dass die 3 Streifensysteme durch die nämlichen Areolen gebildet werden, die Relationen:

$$a = \sin \alpha; b = \sin \beta; c = \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\sin \gamma}.$$

Es sind bis jetzt keine Fälle bekannt, in welchen diese Bedingungen nicht erfüllt wären.

Die bisherigen Untersuchungen über Schichtung und Strei- 542
fung *) haben bezüglich der Anordnung der dichten und weichen Parteen im Raume zu dem Ergebniss geführt, dass die Membransubstanz aus drei verschiedenen Systemen von abwechselnd dichten und weichen Lamellen besteht, welche sich ähnlich, wie die Blätterdurchgänge eines Krystalls, gegenseitig durchsetzen. Das eine dieser Lamellensysteme hat immer die nämliche Lage zur Zelle: es ist die concentrische Schichtung der Membran. Die beiden andern sind dagegen sehr verschieden gestellt; sie gehen bald der Längs- und Querrichtung der Zelle, bald beliebigen schiefen Richtungen parallel und kreuzen sich dabei unter sehr verschiedenen Winkeln; diese bedingen die Streifung der Membran. Bei der spiraligen Streifung stehen die alternirend dichten und weichen Lamellen der beiden Spiralsysteme meist senkrecht auf den concentrischen Schichten; sie schneiden daher mit diesen abwechselnd dichtere und weichere, rectanguläre oder orthorhombische Prismen ab, welche ebenso viele übereinander liegende Lagen bilden, als Schichten vorhanden sind. Die relative Dichtigkeit dieser Prismen richtet sich bei jedem einzelnen nach der Dichtigkeit der Lamellen, durch deren Kreuzung dasselbe gebildet wird. Wenn wir beispielsweise annehmen, die dichten und weichen Lamellen haben in jedem der drei Systeme eine andere Dichtigkeit, so dass sie im Ganzen 6 verschiedene Abstufungen repräsentiren, so erhalten wir für jede Membranschicht und für jede Streifenlamelle eine vierfach verschiedene Dichtigkeit der Prismen und im Ganzen eine Zusammensetzung aus Prismen von 8 verschiedenen Dichtigkeitsgraden. **)

*) Siehe die Abhandlung von Nägeli in den Sitzgsber. der k. bayer. Akad. der Wiss., Vortrag vom 7. Mai 1864.

**) Die Combinationen, welche unter den gegebenen Verhältnissen mit 6 verschiedenen, paarweise auf die 3 Systeme zu beziehenden Dichtigkeiten 1, 2, 3, 4, 5, 6 möglich sind, sind folgende:

Das Nämliche gilt auch für die Ringstreifung, sofern die Ringe genau quergestellt sind und sich mit Längsstreifen combiniren; die Prismen sind alsdann rectangulär. Bei der gewöhnlichen schiefen Ringstreifung ist dagegen die räumliche Anordnung der drei Systeme complicirter. Die elementaren Prismen, welche durch die Kreuzung entstehen, haben hier eine an den opponirten Punkten der Zelle zwar gleiche, aber mit der Richtung des Durchmessers stetig wechselnde Gestalt, weil der Winkel, unter welchem die Ringe sich in den concentrischen Schichten der Zellhaut kreuzen, mit der Lage des Kreuzungspunctes sich ändert. Dieser Winkel erreicht nämlich, wie bereits oben bemerkt, an zwei opponirten Punkten die grösstmögliche Oeffnung und wird an zwei andern, welche um $\frac{1}{4}$ des Umfanges davon abstehen, gleich Null; dazwischen liegen die Uebergänge. Dieselben Winkelveränderungen müssen daher auch die Prismen, welche durch die beiden Ringsysteme abgeschnitten werden, in jedem Quadranten des Zellumfanges durchlaufen.

Es giebt Zellen, welche stellenweise deutliche Ringstreifung, an andern Stellen dagegen Spiralstreifung zeigen; an Bastzellen beobachtet man öfters, dass die beiden Streifungen in bestimmten Intervallen alterniren. Ueberdiess kommen Verschiedenheiten mit Rücksicht auf Neigung und Deutlichkeit vielfach vor.

Ob ausser der Spiral- und Ringstreifung noch andere Typen von wesentlich abweichendem Charakter vorkommen, muss durch weitere Untersuchungen ermittelt werden. Ebenso ist über die Entwicklungsgeschichte der Streifen zur Zeit kaum etwas Sicheres bekannt.

543 Ueber die Formverhältnisse der Membran, ihre Erhabenheiten und Vertiefungen und die dadurch bedingte gröbere Zeichnung derselben können wir uns kurz fassen. Es wurde bereits in einem frühern Abschnitt (Theorie der mikroskopischen Wahrnehmung p. 216) die Frage erörtert, wie solche Unebenheiten in schwierign Fällen von den optisch gleich wirkenden Streifungen und ähnlichen Dichtigkeitsverschiedenheiten zu unterscheiden seien, und für die leichtern Fälle ist mit Rücksicht hierauf eine Besprechung obnehin überflüssig. Wir beschränken uns daher auf die Hervorhebung einiger Punkte, deren Studium in dieser oder jener Hinsicht besondere Aufmerksamkeit erheischt.

Dahin gehört zunächst die bei der Untersuchung von Poren oft wiederkehrende Frage, ob an einer bestimmten Stelle im Porenkanal eine von der sogenannten primären Membran gebildete Scheidewand vorhanden sei oder nicht. Bekanntlich weichen die Angaben verschiedener Beobachter gerade in diesem Punkte hie und da sehr von einander ab, und die Diffe-

1 3 5	2 3 5	1 3 6	2 3 6
1 4 5	2 4 5	1 4 6	2 4 6

Es können natürlich nie zwei Ziffern, die sich auf dieselbe Fläche beziehen, nebeneinander figuriren.

renzen der Anschauung, welche in Betreff der Siebporen und der Entstehungsweise der Porenhöfe sich geltend gemacht haben, stehen damit im Zusammenhang. Die Möglichkeit der Täuschung und der Controversen entspringt in diesen streitigen Fällen aus der nämlichen Quelle: es ist diess die beträchtlich grössere oder geringere Dichtigkeit einer dünnen, mittlern oder äussern Lamelle der Zellhaut, der sogenannten primären Membran, welche vermöge der ungleichen Lichtbrechung, die sie bedingt, auch da den täuschenden Schein einer Scheidewand hervorruft, wo eine solche nicht vorhanden ist. Dazu kommt dann allerdings noch der weitere Umstand, dass die wirklichen Scheidewände in ältern Entwicklungsstadien der Zelle nicht selten wieder resorbirt werden; doch sind die Fehler, welche dadurch veranlasst werden können, unschwer zu vermeiden, indem man die Zellen in verschiedenen Entwicklungsstadien und zwar vorzugsweise in den jüngern untersucht. Was dagegen die Gefahr der optischen Täuschung betrifft, so ist hier jedenfalls die grösste Vorsicht erforderlich. Das beste Mittel, dieselbe zu umgehen, bestände natürlich in der Herstellung von Präparaten, in welchen der Porus sowohl auf der zugekehrten als abgekehrten Seite angeschnitten und daher nur mit seinem mittlern Theil wirksam wäre; allein daran ist bei der Kleinheit des Porus in den meisten Fällen gar nicht zu denken. Es bleibt in der Regel nichts anderes übrig, als die besten Schnitte, die man bekommen kann, möglichst sorgfältig zu untersuchen, und zwar nicht bloss in Wasser, sondern auch in stärker brechenden Medien, welche die optische Wirkung der mittlern Lamelle schwächen oder aufheben. Ist der Porus mit Plasma gefüllt, so giebt zuweilen das Verhalten dieses letztern auf Zusatz von Reagentien oder auch ohne dieselben einige weitere Anhaltspunkte.

Die Form der Poren ist bei einiger Aufmerksamkeit leicht zu bestimmen, da hierüber die Flächenansichten der Membran in Verbindung mit geeigneten Durchschnitten senkrecht zur Fläche alle erforderlichen Anhaltspunkte darbieten. Dessenungeachtet werden manche Eigenthümlichkeiten der Form, wie z. B. die wendeltreppenartige Drehung bei spaltenförmigen Porenkanälen und ähnliche Dinge leicht übersehen.

In Fällen, wo sich Formverhältnisse mit Dichtigkeitsverschiedenheiten **544** in complicirter Weise combiniren, wie z. B. bei den Siebwänden von *Cucurbita*, ist es zweckmässig, dünne Schnitte durch das betreffende Gewebe in Gummi eintrocknen zu lassen und dann in einer zur frühern rechtwinkligen Richtung abermals zu durchschneiden. Man erhält auf diese Weise Präparate, welche nicht nur die äussern Formverhältnisse des zu untersuchenden Objectes, sondern auch die räumliche Vertheilung der dichten und weichen Particeen im Innern und damit den ganzen Auf- und Ausbau desselben zu ermitteln gestatten.

b) Wachstum.

545 Um die Wachsthumweise der Stärkekörner und Membranen zu ermitteln, müssen zunächst die im Vorhergehenden besprochenen anatomischen Verhältnisse, insbesondere der Schichtenverlauf, genau festgestellt und jüngere und ältere Stadien, wie bei allen entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen, mit einander verglichen werden. Dabei ist wohl zu berücksichtigen, dass das blosse Vorhandensein von Schichten, welches auch ihre Lagerung sein mag, sich a priori mit sehr verschiedenen Bildungsgesetzen vereinbaren lässt: es kann durch innere Differenzirung oder durch Anlagerung von aussen, oder auch durch Beides zugleich erklärt werden, und jeder dieser Typen gestattet wieder mancherlei Modificationen. Der Beobachter kann daher stets nur durch genauere Untersuchung ermitteln, in welcher Weise die Vermehrung der Schichten in einem gegebenen Falle stattfindet. Als Richtschnur können hiebei die folgenden Regeln dienen.

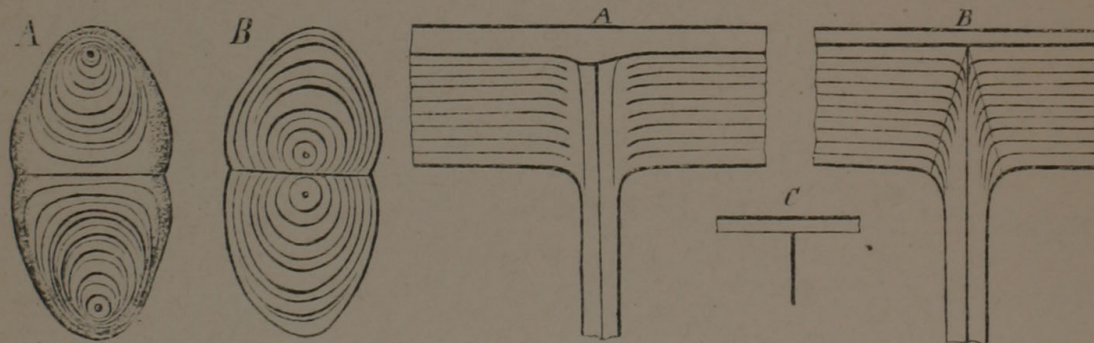
1) Wenn wir in Geweben, deren Zellen alle nur wünschbaren Uebergänge der Verdickung und Schichtenbildung zeigen, keine Membranen beobachten, welche vom Lumen der Zelle durch eine weiche Schicht abgegrenzt sind, wenn wir vielmehr die Wahrnehmung machen, dass die an den Primordialschlauch grenzende Schicht durchgehends eine dichte ist, so genügt diese Thatsache, um die Annahme auszuschliessen, dass sich abwechselnd dichte und weiche Schichten auf die Innenfläche der Membran ablagern; denn wäre diess der Fall, so müsste man nothwendig auch Stadien finden, in welchen eine weiche Schicht an der Oberfläche läge. — Dasselbe gilt natürlich auch für die Stärkekörner. Das constante Nichtvorhandensein einer weichen oberflächlichen Schicht liefert hier den Beweis, dass die Schichtenbildung nicht auf der Ablagerung neuer Substanz auf der schon vorhandenen beruhen kann.

2) Wenn in einer homogenen Scheidewand zwischen zwei Zellen eine mittlere heterogene Schicht auftritt (Intercellularsubstanz, primäre Membran), so kann das in gleicher Weise, wie die Vermehrung der Schichten, nur durch innere Differenzirung geschehen. Bei der Bildung einer ähnlichen heterogenen Schicht an der Oberfläche einer Membran (Extracellulärsubstanz, Cuticula) ist sowohl die Annahme einer Ausscheidung als die einer Differenzirung möglich. Man hat alsdann nach weiteren Anhaltspuncten zu suchen, um diese beiden denkbaren Fälle gegen einander abzuwägen.

Eine sichere Beantwortung der Frage, ob Ausscheidung oder Differenzirung, ist übrigens in manchen Fällen gar nicht möglich. Namentlich sind die Belege, welche für den Nachweis einer Schichtenbildung durch Ausscheidung nothwendig sind, nur äusserst selten zu finden. Eine Aus-

scheidung ist mit Sicherheit nur da anzunehmen, wo die Identität der innern Membranschicht, aus welcher das Ausscheidungsproduct hervorgegangen sein müsste, mit der ursprünglichen ganzen Membran der Zelle sich streng nachweisen lässt. Diess setzt aber eine charakteristische Zeichnung der Membranfläche, wie z. B. bei den Diatomeen, einen besonders günstigen Schichtenverlauf oder irgend ein ähnliches Merkmal voraus, welches die ursprüngliche Aussenfläche oder doch die periphere Schicht der Membran kennzeichnet. Man wird in der Praxis jedenfalls häufiger die Anhaltspunkte finden, welche mit Sicherheit auf eine innere Differenzirung schliessen lassen. — Als Ausscheidungsproduct ist beispielsweise die Extracellulärsubstanz der Diatomeen, Desmidiaceen und Zygnemaceen zu betrachten; die Cuticula der höhern Gewächse entsteht dagegen in vielen Fällen unzweifelhaft durch Differenzirung.

3) In manchen Fällen geht schon aus der Anordnung der Schichtencomplexe und namentlich aus der Vergleichung jüngerer Zustände mit älteren ganz sicher hervor, dass die Vermehrung der Schichten auf der Spaltung schon vorhandener, nicht auf der Anlagerung neuer Substanz an der Oberfläche, beruht. Diess ist z. B. bei zusammengesetzten Stärkekörnern der Fall, deren Kerne in jugendlichen Stadien nahezu in der Mitte der zugehörigen Schichten liegen, während sie im ausgewachsenen Korn viel weiter von der Trennungslinie zwischen den Theilkörnern, als von der freien Aussenfläche ihrer Schichtencomplexe abstehen (Fig. 238 A). Die Apposition müsste offenbar eine Anordnung der Schichten wie in Fig. 238 B zur Folge haben. — Ebenso ist auch der Schichtenverlauf in Fig. 239 A,



Figur 238.

Figur 239.

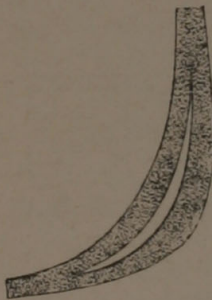
welche einen Durchschnitt durch die Membran von *Caulerpa prolifera* an der Ansatzstelle einer Cellulosefaser darstellt, mit der Annahme einer Auflagerung unvereinbar; die letztere würde, da der jugendliche Zustand die Verhältnisse von Fig. 239 C zeigt (die Faser als einfache Linie), einen Verlauf der Schichten bedingen, wie er in Fig. 239 B abgebildet ist.

4) Es kann ferner vorkommen, dass eine Schichtung erst in spätern Entwicklungsstadien, nachdem die Körner bereits eine ansehnliche Grösse und die Membranen eine beträchtliche Dicke erreicht haben, allmählich her-

vortritt. Solche Fälle, welche unverkennbar auf Wachstumsvorgänge im Innern hindeuten, sprechen ebenfalls ganz entschieden gegen die Annahme einer Auflagerung von Schichten an der Oberfläche. — Ueberhaupt können Veränderungen, von denen nachgewiesen werden kann, dass sie im Innern geschichteter Gebilde stattgefunden haben müssen, nur durch Intussusception erklärt werden.

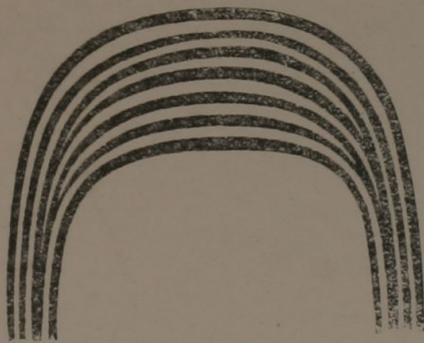
- 546 In zweiter Linie sind die mikrochemischen Reactionen, welche das zu untersuchende Object in jüngern und ältern Stadien zeigt, in Betracht zu ziehen. Bei den Stärkekörnern wird man z. B. die Wahrnehmung machen, dass eine peripherische Substanzlage von geringer Dicke in jungen wie in ältern Körnern die grösste Widerstandsfähigkeit gegen Lösungsmittel besitzt und in Folge dessen als membranähnliche Hülle zurückbleibt, nachdem das Innere des Korns bereits gelöst ist. Die innern Schichten grosser Körner sind stets weit löslicher und weicher, als die peripherischen Schichten kleiner Körner. Daraus folgt aber, dass der innere Theil eines grossen Korns keineswegs identisch ist mit dem unveränderten jüngern Korn, dass folglich die Annahme einer Volumenzunahme des letztern durch blosse Auflagerung von Schichten den Thatsachen nicht genügt. — Aehnliche Anhaltspuncte, welche auf chemische Veränderungen im Innern der Substanz hindeuten, bieten auch die Membranen vielfach dar, und es ist immer genau zu erwägen, welche Schlüsse sich aus den beobachteten Reactionen ziehen lassen.

- 547 Die Modificationen betreffend, welche im Falle einer Schichtenbildung durch Intussusception noch denkbar sind, so beschränken wir uns hierüber auf folgende Sätze.



Figur 240.

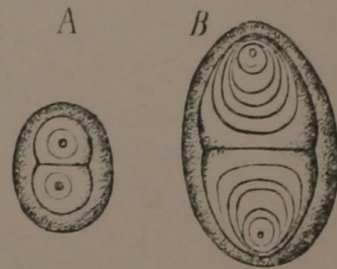
- 1) Wenn die dichten Schichten sich stellenweise so aneinander anschliessen, dass die weichern sich zwischen denselben auskeilen (Fig. 240), so beruht die Vermehrung der Schichten auf der Bildung weicher Substanz im Innern der dichten und der dadurch bewirkten Spaltung der dichten Schichten in je zwei Lamellen. Kommt der entgegengesetzte Fall auch vor, so deutet diess auf Bildung dichterer Substanz innerhalb der weichen, also auf Spaltung der wasserreichen Schichten.



Figur 241.

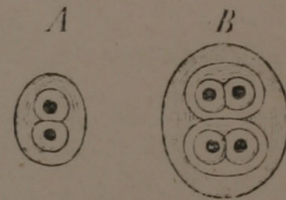
- 2) Ein Schichtenverlauf wie der in nebenstehender Fig. 241 beweist, dass die Bildung der Schichten und damit auch das Dickenwachsthum im mittlern Theil der Membran am lebhaftesten vor sich geht. Wie der Verlauf sich gestalten müsste, wenn das vorwiegende Wachsthum in den äussersten oder innersten Schichten stattfände, ist hieraus leicht zu entnehmen.

3) Wenn geschichtete Gebilde in jüngern und ältern Stadien aus zwei oder mehreren deutlich von einander abgegrenzten Complexen bestehen, so ergibt sich das relative Maass des Dickenwachsthum für jeden derselben und auf jeder Normale zum Schichtenverlauf unmittelbar aus der Vergleichung der Dimensionsverhältnisse auf verschiedenen Entwicklungsstufen. Die in Fig. 242 und 243 dargestellten Beispiele mögen diess veranschaulichen.



Figur 242.

In Fig. 242 ist ein halb zusammengesetztes Stärke Korn aus der Kartoffel im jugendlichen Zustand *A* und im weiter entwickelten *B* abgebildet. Ein Blick auf die beiden Entwicklungsstadien genügt, um sich zu überzeugen, dass das Dickenwachsthum des Kornes fast ausschliesslich auf der Vergrösserung der Theilkörner beruht, indem die peripherische Hülle so gut wie keine Dickenzunahme zeigt. Die excentrische Lage der Schichtencentren beweist überdiess das vorwiegende Wachsthum in der Richtung der Verbindungslinie.



Figur 243.

Dagegen spricht sich in Fig. 243, welche zwei analoge Entwicklungsstadien (*A* und *B*) einer Gloeocapsa-Colonie darstellt, auch in den peripherischen Schichtencomplexen eine merkliche Dickenzunahme aus.

Analoge Verschiedenheiten, wie die Vermehrung der Schichten und 548 das Dickenwachsthum im Allgemeinen, bietet auch das Flächenwachsthum der Membranen oder bestimmter Schichtencomplexe. Das absolute Maass der Flächenzunahme ist selbstverständlich auch hier durch die Grössenverhältnisse im jugendlichen und im ausgewachsenen Zustande gegeben; die Bestimmung desselben ist demnach Sache der Messung und Rechnung und bedarf als solche keiner Erörterung. Schwieriger ist es, die relativen Wachsthumintensitäten für die verschiedenen Zonen oder Elemente der Fläche zu ermitteln. Es setzt diess immer, wie man leicht einsieht, eine bestimmte Zeichnung der Membran, oder irgend eine Abgrenzung verschiedener Flächentheile durch die Natur der Umgebung, überhaupt das Vorhandensein fixer Punkte auf der Membranfläche voraus, deren Distanzveränderungen in Folge des Wachsthumes bestimmbar sind.

Solche fixen Punkte bieten z. B. die faserförmigen Verdickungen der Spiral- und Ringgefässe, die Zeichnung der Diatomeen, ferner die Ansatzstellen der Scheidewände in Geweben, der seitlichen Verzweigungen bei Zellfäden und Zellflächen, der Cellulosefasern bei *Caulerpa prolifera* u. s. w. Die Erörterung einiger speziellen Fälle wird am besten zeigen, wie sich die gebotenen Anhaltspunkte verwerthen lassen.

4) Die faserförmigen Verdickungen der Spiral- und Ringgefässe liegen

unmittelbar nach ihrem Auftreten ziemlich dicht und in gleichmässiger Entfernung neben einander, werden jedoch durch die später erfolgende Streckung der Gewebe oft weit aus einander gerückt. Es gibt Gefässe, bei denen die Abstände zwischen den successiven Windungen oder Ringen auch im ausgewachsenen Zustande nahezu gleich sind, wo daher das Längenwachsthum der Gefässmembran ein ziemlich gleichmässiges sein muss. Bei andern dagegen kommen periodische Ungleichheiten vor, oder es verändert sich das Wachsthum von dem einen Ende nach dem andern hin.

2) Man beobachtet nicht selten, dass Scheidewände, Ausstülpungen, Verzweigungen u. dgl., welche in jungen Geweben eine bestimmte Lage zur Zelle einnehmen, indem sie z. B. der Mitte einer Wandfläche entsprechen, in ältern Stadien mehr oder weniger seitlich verschoben erscheinen. Diess deutet offenbar auf ein einseitig vorwiegendes Wachsthum der Membran. Bei *Callithamnion* rücken z. B. die Verzweigungen der Gliederzellen mit der Verlängerung der letztern weiter nach oben, d. h. der untere Theil der Gliederzellen zeigt ein stärkeres Wachsthum als der obere.

3) Die Cellulosefasern von *Caulerpa prolifera*, welche bekanntlich quer oder etwas schief durch das Lumen der Zelle ausgespannt sind, bilden in der Scheitelregion dieser einzelligen Pflanze ein feines, dichtes Geflecht. Ihre Ansatzpunkte liegen auf der Membranfläche so dicht neben einander, dass die letztere in der Flächenansicht bei mässiger Vergrösserung fein punctirt erscheint. Mit der Entfernung vom Scheitel rücken dieselben allmählig weiter auseinander. Die Vergleichung der gegenseitigen mittlern Abstände muss folglich herausstellen, in welchem Grade und bis zu welcher Entfernung von der Spitze die Membran in die Fläche wächst.

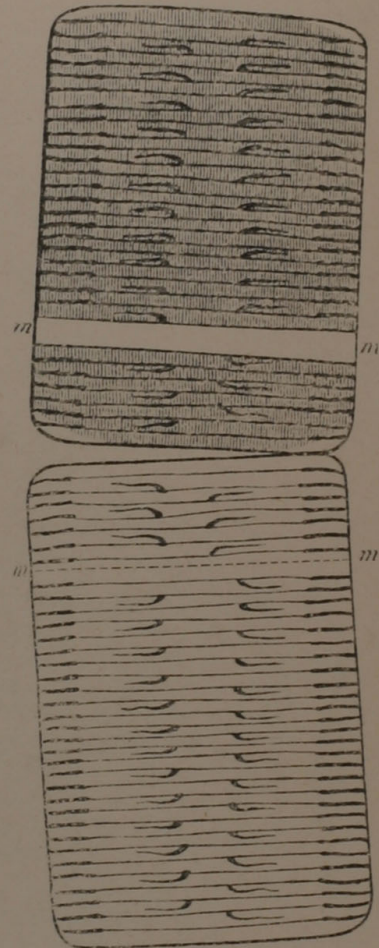
4) Besonders interessant sind die Wachstumsverhältnisse bei den Diatomeen. Wir wählen als Beispiel *Rhabdonema adriaticum* (Fig. 244). Die ausgewachsene Zelle (unsere Figur giebt die Flächenansicht von zwei noch nicht ausgewachsenen Zellen) besteht aus zwei nahezu gleichen, übereinstimmend gezeichneten Hälften, welche durch eine streifenlose mittlere Zone (*mm*) von einander getrennt sind. Die starken Querstreifen, welche nahezu geradlinig von einem Rand bis zum andern verlaufen, sind faserförmige Verdickungen der Membran, welche in der schmalen Profilansicht tief in das Lumen der Zelle hineinragen; die feinem Längsstreifen (in der Figur nur in der einen Zelle dargestellt) sind ähnliche, aber entsprechend schwächere Vorsprünge. Zwischen den durchgehenden Querstreifen, deren Randpartieen merklich stärker hervortreten, befinden sich zu beiden Seiten der Mittellinie noch kürzere, etwas gebogene Streifen, deren zugekehrte Enden knotenförmig verdickt und nach einwärts an die benachbarten Querstreifen angelehnt sind. Diese knotenförmigen Anschwellungen bilden

in jeder Zellenhälfte zwei symmetrische Reihen, welche gegen die Medianzone zu schwach divergiren. Die weitem Eigenthümlichkeiten des Baues dürfen hier, als zum Verständniss des Folgenden nicht nothwendig, übergangen werden.

Bei der Durchmusterung einer grössern Zahl von Individuen begegnet man nun hin und wieder solchen, welche aus zwei ungleichen Hälften bestehen und auf der Seite der kleinern Hälfte, zunächst der homogenen Medianzone, einen weit schwächern, oft undeutlichen Querstreifen besitzen, den man leicht als einen neu hinzugekommenen und noch unausgebildeten erkennt (die punctirte Linie in der untern Zelle der Figur). Man trifft solche Streifen in den verschiedensten Stadien der Ausbildung, aber immer nur auf der kleinern Hälfte und am Rande der Medianzone, nie zwischen bereits entwickelten Streifen. Daraus folgt ohne Weiteres, dass nur die kleinere Zellenhälfte im Wachsthum begriffen ist und dass sie ihren hauptsächlichsten Zuwachs von der Medianzone aus erhält, auf welche die Anlage neuer Streifen beschränkt ist. Da ferner die neu angelegten Streifen durchschnittlich ungefähr gleichweit vom vorhergehenden abstehen, wie die ältern Streifen unter sich, so ergibt sich hieraus, dass das Flächenwachsthum der Membran mit dem Auftreten der streifenförmigen Verdickungen so gut wie abgeschlossen ist.

Dass die Streifenbildung ausschliesslich auf die Medianzone beschränkt ist, folgt übrigens schon aus dem Verhalten der divergirenden Knotenreihen zu beiden Seiten der Mittellinie. Der Abstand der Knotenreihen zunächst der Medianzone ist nämlich bei Exemplaren mit nahezu gleichen Hälften beiderseits gleich, bei solchen mit ungleichen Hälften dagegen in der kleinern Hälfte merklich geringer, und zwar um so mehr, je grösser die Ungleichheit der Hälften. Zeigt die kleinere Hälfte erst einen oder zwei Streifen, so haben hier die Knoten denselben Abstand, wie auf der gegenüberliegenden, der Medianzone abgekehrten Seite der grössern Hälfte. Diese Thatsachen sind nur erklärlich, wenn die Anlage der Streifen in der Medianzone erfolgt und der Abstand der Knoten in jedem folgenden Streifen etwas grösser ausfällt als im vorhergehenden.

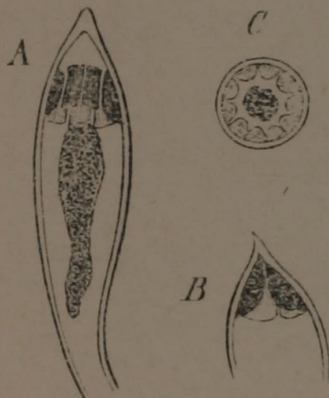
Wie bei Rhabdonema, so findet man auch bei den übrigen Diatomeen



Figur 245. (500)

eine homogene Grenzzone zwischen den beiden Hälften der Zelle, und es lässt sich in vielen Fällen in ähnlicher Weise zeigen, dass das Wachstum der Membran auf diese verhältnissmässig schmale Zone beschränkt ist. Auch ist es immer nur die kleinere Hälfte, welche von hier aus einen Zuwachs erhält; dieselbe nimmt in Folge dessen so lange an Grösse zu, bis sie der andern Hälfte ungefähr gleich ist, dann entsteht in der Mitte der Grenzzone eine Scheidewand, welche die Zelle in zwei Tochterzellen theilt, von denen in der Folge jede auf der der Scheidewand zugekehrten Seite eine neue Hälfte bildet.

5) Schliesslich mag hier noch die eigenthümliche Membranbildung der *Oedogonien* Erwähnung finden. Bei diesen Algen geht jeder Theilung der Gliederzellen die Bildung eines gallertartigen Ringes voraus, den man in einzelnen Fällen bestimmt als zusammengesetzt aus mehreren deutlich von einander getrennten Cellulosepolstern erkennt. Ein solcher Polsterkranz ist in Fig. 245, welche eine keimende Spore von *Oedogonium capillare* darstellt, in der Seitenansicht (*A* und *B*) und in der Querschnittsansicht (*C*) abgebildet.*) Die Zahl der Polster ist übrigens verschieden; zuweilen sind es nur 4—5, in andern Fällen 8—10. Auch die Form derselben und die bald



Figur 245. (400)

etwas höhere, bald etwas tiefere Stellung in der Zelle bietet mancherlei Abweichungen. Dass sie aus weicher, dehnbarer Cellulose bestehen, folgt aus ihrem weiteren Verhalten. Die Membran der Mutterzelle wird nämlich in einem etwas spätern Entwicklungsstadium an der Aussenseite der Polster wie durch einen ringförmigen Einschnitt in ein oberes und unteres Stück getheilt, und nachdem diess geschehen, dehnt sich der Polsterkranz zu einer zarten Haut aus, welche die Ränder der beiden getrennten Membranstücke, die dadurch auseinander gerückt werden, mit einander verbindet (s. Fig. 246). Der gallertartige Ring oder Polsterkranz ist also gewissermaassen als eine Ansammlung von Bildungsmaterial zu betrachten, welches in einem spätern Entwicklungsstadium der Zelle zum raschen Aufbau einer neuen Membran verwendet wird.

- 549 Ist das Wachsthumsvermögen der verschiedenen Schichtencomplexe ungleich, so kann es vorkommen, dass die Schichten, welche zu wachsen aufgehört haben, durch die weitere Ausdehnung der übrigen Schichten zerrissen werden. Bei den Membranen tritt dieser Gegensatz hin und wieder zwischen den innern und äussern Schichten und zwar in der Art hervor, dass eine peripherische Lamelle der Membran

*) Die Präparate wurden mit Iod und Zuckerlösung behandelt. Die Cellulosepolster färben sich hierbei violett bis rothviolett, indess die äussere Membran farblos bleibt. Der Inhalt ist stark contrahirt.

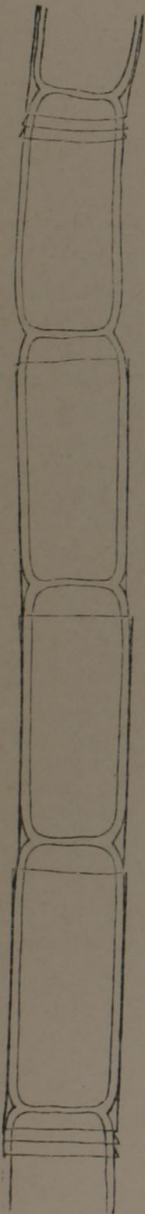
von Zeit zu Zeit in gesetzmässiger Weise durchbrochen oder wie durch einen kreisförmigen Einschnitt in zwei gleiche oder ungleiche Stücke getheilt wird, welche sodann in Folge der fortdauernden Streckung der Zelle allmählig weiter auseinander rücken. Die Modalitäten dieses Vorganges bieten natürlich mancherlei Verschiedenheiten, und es bedarf oft eines genauen Studiums der Entwicklungsgeschichte, um dieselben festzustellen. In der Hauptsache ist jedoch das Verhalten der Membran schon durch die anatomischen Verhältnisse des fertigen Zustandes meist deutlich ausgesprochen.

Ein bekannter hierher gehöriger Fall ist die Bildung der sogenannten Kappen und Scheiden bei den *Oedogoniaceen*. Die Theilung der Zellen wird hier, wie bereits oben erwähnt,



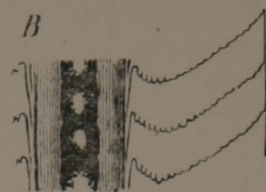
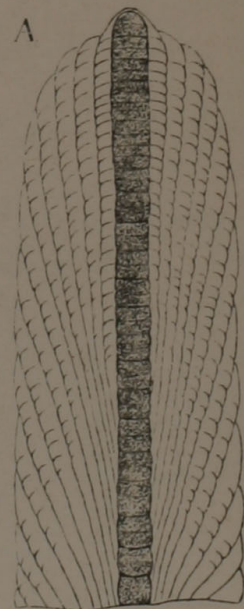
Figur 246. (400)

durch Bildung eines weichen, oft weit nach innen vorspringenden Celluloseringes im obern Theil der Zelle eingeleitet; dann reisst an dieser Stelle die äussere Membran, der Ring dehnt sich in die Länge und erscheint jetzt als zarte Haut, welche sich ober- und unterseits an den Rand der äussern Lamelle ansetzt. In diesem letztern Stadium ist in Fig. 246 eine keimende Spore von *Oedogonium capillare* dargestellt; etwas später bildet sich die Scheidewand. — Der nämliche Vorgang wiederholt sich beim Aufbau des Zellfadens mit jeder Theilung der Zellen; es entstehen dadurch jene Systeme von in einander geschachtelten Kappen und Scheiden, wie sie in Fig. 247 für ein aus einer ursprünglichen Gliederzelle hervorgangenes Fadenstück dargestellt sind.



Figur 247.

Weitere Beispiele für das wiederholte Zerreißen einer peripherischen Schicht liefert die noch wenig bekannte Entwicklungsgeschichte der Scheiden bei den *Rivulariaceen* und *Scytonemeen*. Hier wird, wie es scheint, eine peripherische Lamelle der Membranen, welche sich immer wieder neu bildet, von der fortwachsenden Spitze des Fadens in regelmässigen Intervallen durchbrochen, wächst dann aber nicht selten noch längere Zeit in die Dicke und Fläche, in der Art, dass der obere Theil der Lamelle sich in Folge dessen trichterförmig erweitert. Dies ist z. B. bei *Petalonema alatum* Berkeley



Figur 248. (250)

(Fig. 248) der Fall. Die Schichten verlaufen hier zunächst der Scheitelregion (A) der Längsaxe nahezu parallel, dagegen mit zunehmender Entfernung von derselben unter immer grössern Winkeln nach aussen. Der Querschnitt zeigt dabei nach wie vor concentrische Schichtung. Bei ältern Fäden findet man hie und da einen Schichtenverlauf, wie er in Fig. 248 B dargestellt ist. Die Vergleichen mit A ergibt, da die Vergrösserung dieselbe ist, ohne Weiteres, dass das selbständige Wachsthum der Schichten jedenfalls bis auf sehr bedeutende Entfernungen vom Scheitel fort dauert.

Ferner gehört hieher die Bildung der Hüllmembranen bei den grössern *Diatomeen* (*Biddulphia*, *Isthmia*, *Pyxidicula*, *Rhabdonema* u. a.). Es sind auch hier Membranlamellen, welche nach der Theilung der Zellen zu wachsen aufhören und sich über die jungen, neugebildeten Hälften gürtelförmig hinwegziehen. Zuweilen beobachtet man sogar zwei über einander liegende Hüllen, eine äussere schmalere, welche zuerst, und eine innere breitere, welche später gebildet wurde.

2. Aufbau der Plasmagebilde.

550 Da das Material, welches hier zur Verwendung kommt, halbflüssig ist und in Wasser meist Tropfenform annimmt, so lässt sich erwarten, dass die Plasmagebilde diese halbflüssige *) Consistenz beibehalten. Die Entstehung dieser Gebilde steht übrigens mit dem Ausbau der Zelle im Zusammenhang. Junge Zellen (Sporen, Schwärmzellen etc.), welche nicht bereits einen mehr oder weniger ausgebildeten Inhalt von der Mutterzelle geerbt haben, sind ganz mit Plasma gefüllt; das letztere ist gewissermaassen als blosses Material vorhanden und wird erst durch die spätern Lebensprocesse der Zelle in verschiedener Weise vertheilt, in Streifen und Bänder ausgezogen, zu kugeligen Bläschen oder fadenförmigen Bildungen verarbeitet, mit Farbstoffen durchtränkt u. s. w.

Um den Aufbau der Plasmagebilde zu studiren, ist es daher nothwendig, die allmähliche Differenzirung des Inhaltes in geeigneten jungen Geweben (an keimenden Sporen, in der Scheitelregion lebhaft vegetirender Algen, in Blattanlagen, Stammspitzen u. s. w.) zu beobachten, welche beim Uebergang in Dauergewebe die erwähnten Entwicklungsstadien durchlaufen. Man wird dabei stets die Wahrnehmung machen, dass alle Plasmapartien, welche während der Ausbildung des Inhaltes isolirt werden, sich

*) Man darf in dem Ausdruck halbflüssig, auf Plasmagebilde angewendet, nicht etwa einen Widerspruch mit der Annahme einer Organisation erblicken, da derselbe sich einzig und allein auf die Consistenz, nicht auf den innern Bau bezieht. Das halbflüssige Plasma ist allerdings von dem halbflüssigen Gummischleim wesentlich verschieden, da das erstere stets nur eine bestimmte Menge Wasser enthält, die mit seiner Organisation zusammenhängt, indess der letztere beliebig verdünnt werden kann; allein hinsichtlich ihrer Consistenz stimmen beide überein.

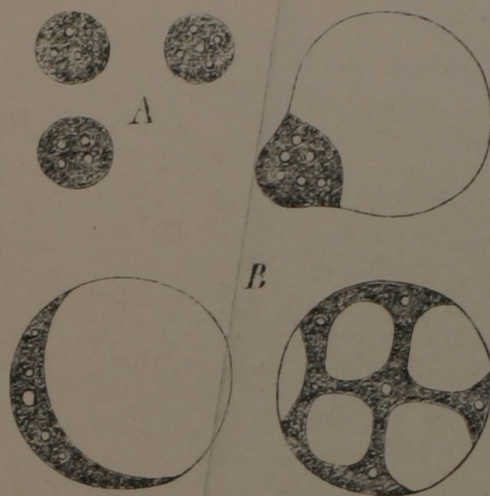
an der Oberfläche verdichten und so ein homogenes Häutchen bilden, das in seinen Eigenschaften mit dem Primordialschlauch übereinstimmt. Es ist diess dieselbe Erscheinung, die man auch durch mechanische Zertheilung des Zellinhaltes hervorrufen kann, so dass man annehmen muss, sie bestehe wesentlich in einer physikalischen Veränderung des Plasmas bei der Berührung mit Wasser. *) Ueber die Natur dieser Veränderungen sind wir allerdings nur auf Vermuthungen angewiesen; doch ist es nicht unwahrscheinlich, dass das fragliche Häutchen aus dem im Plasma enthaltenen gelösten Eiweiss entsteht, indem dasselbe in Folge der Berührung mit einer heterogenen Flüssigkeit in Membranform niedergeschlagen wird. Der Vorgang wäre hienach der Membranbildung bei Traube's künstlichen Zellen, wenn auch nicht gerade in allen Puncten vergleichbar, doch mindestens analog.

Das Vorhandensein eines solchen äusserst dünnen Häutchens bei Chlorophyllkörnern und Zellkernen, obschon bis auf die neueste Zeit vielfach bestritten, lässt sich in manchen Fällen mit Sicherheit nachweisen. Es genügt, dieselben zu isoliren und der Einwirkung des umspülenden Wassers zu überlassen. Sie quellen dabei etwas auf, das Plasma vertheilt sich und in den Zwischenräumen sammelt sich das durch Endosmose eingedrungene Wasser; eine Unterbrechung des peripherischen Häutchens findet aber nicht statt. Chlorophyllkörner und Zellkerne verhalten sich also genau wie membranlose junge Zellen. Die Uebereinstimmung spricht sich auch darin aus, dass das peripherische Häutchen, wie der Primordialschlauch, farblos erscheint, indem das Chlorophyll stets nur das innerhalb desselben liegende Plasma tingirt.

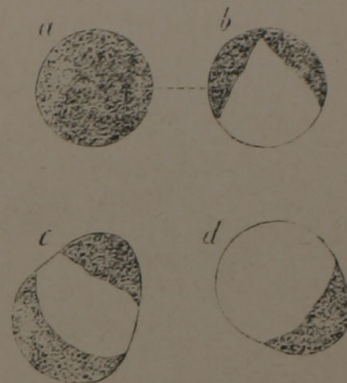
Als besonders günstige Objecte zur Beobachtung dieser Verhältnisse 551 sind die Chlorophyllkörner der Nitellen und einiger Monocotyledonen, z. B. von *Clivia* und *Aspidistra*, zu empfehlen. Die Quellungserscheinungen, welche die Einwirkung von Wasser hervorruft, lassen sich hier sowohl auf Durchschnitten, namentlich durch jugendliche Organe, als an isolirten Körnern bei 4—500maliger Vergrösserung leicht verfolgen. Die Existenz eines peripherischen Häutchens ist allerdings nur in besonders günstigen Fällen direct zu beobachten, da es nur selten doppelt contouirt erscheint, dieselbe kann jedoch aus der Anordnung der gefärbten und ungefärbten Inhaltspartieen mit Nothwendigkeit oder doch mit grösster Wahrscheinlichkeit gefolgert werden. Bei *Clivia nobilis*, wie bei *Nitella*, sieht man z. B. häufig Körner, bei denen das grüne Plasma nach der Quellung die in Fig. 249 B und Fig. 250 dargestellte Lagerung zeigt. Die Körner Fig. 249 sind aus *Nitella syncarpa*, sie enthalten mehrere kleine Stärkekörner; A ist der unveränderte, B der veränderte Zustand. Fig. 250 stellt die aufgequollenen Körner von *Clivia nobilis* dar und zwar a und

*) Siehe hierüber Nägeli, Pflanzenphysiologische Untersuchungen, I. p. 9.

b das nämliche Korn in zwei verschiedenen Ansichten, *c* und *d* zwei andere Körner. *)



Figur 249. (1000)



Figur 250. (1000)

552 Von der halbflüssigen Beschaffenheit der Plasmagebilde sammt ihrer membranartigen Umhüllung überzeugt man sich, indem man mehrere derselben mit einander in Berührung bringt und etwas quetscht, was z. B. mit Chlorophyllkörnern, wenn sie als Wandbeleg auftreten, nach dem Ablösen des Primordialschlauches durch Glycerin sich hie und da leicht bewerkstelligen lässt. Sie fliessen alsdann zu Plasmakugeln zusammen, die sich wie ein einfaches Korn verhalten. Ebenso liefert die Thatsache, dass das Plasma beim Freiwerden der Schwärmsporen zuweilen in lange Fäden ausgezogen wird,**) welche nach dem Zerreißen in die nun getrennten grössern Plasmamassen zurückfliessen, ohne hier irgend eine Erhabenheit

*) Mohl, welcher diese Erscheinungen ebenfalls beobachtete (s. Bot. Ztg. 1855), erklärt dieselben, im Widerspruch mit obiger Darstellung, durch starkes Aufquellen einer im Innern des Korns befindlichen farblosen oder schwach gefärbten Substanz, in welcher sich durch Wasseraufnahme zuerst zahlreiche Vacuolen bilden, die sich endlich zu grössern Blasen vereinigen und hierauf angeblich durch die umgebende Hülle nach aussen hervorbrechen, wobei die letztere an der Aussenfläche der Blasen hängen bleiben und dieselbe mützenartig bedecken soll.

Hiegegen ist erstlich einzuwenden, dass die Annahme einer quellungsfähigen Substanz, von der man an den unveränderten Chlorophyllkörnern nichts bemerkt, doch allzu hypothetisch ist, und dass überhaupt bis jetzt keine Substanz bekannt sein dürfte, welche in reinem Wasser aufquillt, dagegen in der neutralen oder schwachsauren Zellflüssigkeit nicht aufquillt. Die Annahme dagegen, dass die Chlorophyllkörner und Zellkerne in Wasser eine vermehrte Endosmose zeigen, ist in Uebereinstimmung mit dem Verhalten der ganzen Zelle.

Zweitens ist hervorzuheben, dass, wenn auch die Mehrzahl der Fälle vielleicht die Mohl'sche Erklärung ebensowohl zulässt als die unsrige, doch einzelne sie ausschliessen. Dazu gehören namentlich diejenigen, wo das Häutchen der durch Wasser veränderten Chlorophyllkörner einen doppelten Contour zeigt und das grüne Plasma deutlich umzieht.

Drittens ist noch zu bemerken, dass der Primordialschlauch in Zellen, die mit Plasma gefüllt sind, eben so wenig direct zu beobachten ist, und dass solche Zellen, wenn sie keine Membran besitzen und in Wasser kommen, die gleichen Veränderungen zeigen wie die Chlorophyllkörner und Zellkerne.

**) Man vgl. z. B. die Darstellung der Schwärmsporenbildung bei *Stigeoclonium insigne* Näg. in den »Pflanzenphysiol. Untersuchungen« I. p. 36 und Taf. I.

zu verursachen, zugleich einen Beweis für die hohe Dehnbarkeit, wie für die Halbflüssigkeit der Plasmasubstanz.

Zu den bläschenförmigen Plasmabildungen gehören ferner die *Spermatozoen*. Das Studium ihrer Entwicklung aus dem Plasma der Mutterzelle macht im Allgemeinen keine besondern Manipulationen nöthig; dagegen hält es schwer, über Zahl und Form der Wimpern ohne Anwendung von Reagentien ins Klare zu kommen. Auch im Zustand der Ruhe treten sie erst deutlich hervor, wenn sie durch Iodlösung gefärbt werden. Da letztere die Spermatozoen tödtet, so wird sie am besten so zugesetzt, dass sie dieselben durch Diffusion in allmählig steigender Concentration erreicht und dadurch eine langsame Vergiftung bewirkt. Man kann alsdann, während die Bewegung allmählig aufhört, zugleich die Natur dieser letztern und unter Umständen auch den Ruderschlag der Wimpern studiren.

Endlich gehören hieher auch die krystallähnlichen Plasmagebilde oder die *Proteinkrystalloide*. Die Entwicklung derselben und die allmähliche Ausbildung der Krystallform kann in den Hauptpuncten durch Vergleichung jüngerer und älterer Zustände leicht ermittelt werden. Junge Krystalle sind immer rundlich, etwas später kommen die Ecken zum Vorschein, zuletzt findet die Ebenung der Krystallflächen statt. Ueber die Art des Wachsthum's geben, wie bei den Stärkekörnern und Membranen, die hie und da deutlich hervortretenden Schichten, die Trennungsspalten bei Doppelkrystallen etc., sowie ferner das Verhalten gegen chemische Reagentien Aufschluss. In letzterer Hinsicht ist namentlich zu beachten, dass die innern Partien der Krystalloide, ähnlich wie bei den Stärkekörnern, stets quellungsfähiger und löslicher sind als die äussern, so dass nach vollständiger Auflösung der innern Substanz eine membranähnliche peripherische Hülle zurückbleibt. Alles das deutet darauf hin, dass das Wachsthum auch hier auf Intussusception, nicht auf Apposition beruht.

Wie aus dem Gesagten hervorgeht, ist die Methode, die man bei entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen über Plasmagebilde zu befolgen hat, im Grunde genommen dieselbe, die sich überhaupt bei allen Untersuchungen dieser Art als selbstverständlich empfiehlt. Es handelt sich zunächst immer darum, Objecte zu wählen, in welchen die zu untersuchenden Processe stattfinden, und sodann um eine genaue Vergleichung der verschiedenen Entwicklungsstadien. Ein Punct verdient jedoch nachträglich noch besonders hervorgehoben zu werden. Es kann der Fall eintreten, dass sich in Betreff der Identität eines bestimmten Gebildes auf den verschiedenen Stufen der Differenzirung Zweifel aufdrängen. Wenn z. B., wie es bei der freien Zellbildung öfter vorkommt, sich im Inhalt der jungen Zelle zuerst kleine homogene Kügelchen ausscheiden, wenn hierauf in einem spätern Entwicklungsstadium grössere Kügelchen mit je einem kleineren als Einschluss und in einem dritten Stadium bereits fertige Zellen mit Nucleus und Nucleolus vorhanden sind, so ist oft schwer zu ermitteln,

welche Theile der spätern Zustände mit den zuerst gebildeten Kügelchen identisch seien. Es sind hier a priori folgende Fälle denkbar.

1) Die primären Kügelchen entsprechen den eingeschlossenen Kügelchen im zweiten und den Nucleoli im dritten Stadium. Es würde hienach zuerst der Nucleolus, dann durch Auflagerung der Kern, endlich der übrige Inhalt der Zelle entstehen.

2) Die primären Kügelchen entsprechen im zweiten Stadium den grössern Kugeln und im dritten dem Zellkern. Hienach würde zuerst der Zellkern, dann in diesem durch Differenzirung das Kernchen, endlich durch Auflagerung der übrige Theil des Inhalts sich bilden.

3) Die primären Kügelchen entsprechen der ganzen Zelle; Kern und Kernchen entstehen im Innern derselben durch Differenzirung.

Gegenüber solchen Alternativen, denen man hin und wieder begegnet, ist es vor Allem geboten, die Grössenverhältnisse der verschiedenen Theile in den jüngern und ältern Stadien genau zu berücksichtigen. Wenn z. B., um auf die eben erwähnte freie Zellbildung zurückzukommen, die Nucleoli der fertigen Zelle oder die Einschlüsse des zweiten Stadiums durchgehends kleiner sind als die primären Kügelchen, so ist auf keinen Fall daran zu denken, dass die letztern mit den erstern identisch seien. Besteht dagegen diese Ungleichheit in den drei Stadien, die wir als bekannt voraussetzen, nicht, so können nur die Uebergangszustände zwischen denselben weitere Aufschlüsse geben. Nehmen z. B. die primären Kügelchen, vom ersten Stadium an gerechnet, noch bedeutend an Volumen zu, bevor ein äusserer und ein innerer Contour, wie im zweiten Stadium, bemerkbar wird, so kann der peripherische Theil dieses zweiten Stadiums offenbar nicht durch Auflagerung entstanden sein, sondern muss als Product einer innern Differenzirung betrachtet werden. In gleicher Weise sind auch die Uebergänge zwischen dem zweiten und dritten Stadium hinsichtlich ihrer Grössenverhältnisse zu vergleichen, und dasselbe Verfahren muss überhaupt bei allen Untersuchungen dieser Art eingeschlagen werden.

3. Zellbildung.

556 Die Zellbildung besteht in der Individualisirung von Plasma, welche ihren Abschluss findet in der Umkleidung mit einem Primordialschlauch und in der Umhüllung desselben mit einer Cellulosemembran. Bei der freien Zellbildung findet vollständige Neubildung von Schlauch und Membran, bei der Vollzellbildung bloss vollständige Neubildung der Membran statt; bei der Theilung endlich behält die neue Zelle auf einem Theil des Umfanges Membran und Schlauch der Mutterzelle und beschränkt die Neubildung auf die Scheidewand.

In den beiden erstern Fällen bieten die Vorgänge der Membran- und Schlauchbildung keine Veranlassung zu morphologischen Erörterungen.

Nur könnte bei der Vollzellbildung die Frage in Betracht kommen, wie weit der Begriff derselben auszudehnen sei. Nach der gewöhnlichen Auffassung ist es wesentlich, dass sich der Plasmaschlauch von der Membran ablöst, worauf er häufig in das umgebende Medium heraustritt. Wir glauben indess, dass auch alle diejenigen Fälle hierher gehören, in welchen der Primordialschlauch eine neue Membran bildet, ohne sich von der frühern loszutrennen, wie diess bei der Bildung der Pollenkörner der Fall ist. Die Membran der letztern darf jedenfalls nicht als die innerste Schale der Spezialmutterzelle aufgefasst werden, da sie von dieser sich jederzeit leicht ablöst. Unter Vollzellbildung ist also diejenige Zellbildung zu verstehen, bei welcher die vom Plasmaschlauch ausgeschiedene Cellulose nicht mehr in die schon vorhandene Membran eingelagert wird, sondern als neue Bildung innerhalb derselben auftritt. So aufgefasst, muss auch die Bildung der Tetrasporen und mancher andern Sporen nicht bloss als Theilung, sondern als Theilung mit nachträglicher Vollzellbildung gedeutet werden, indem auch hier eine vollständige neue Membran entsteht.

Betreffend die morphologische Auffassung des Theilungsvorganges **557** sind auf Grund der bis dahin beobachteten Thatsachen zwei Deutungen möglich. Nach der einen faltet sich der Primordialschlauch ein, indem er auf einer ringförmigen Linie Cellulose oder Wasser ausscheidet, welche meistens in Gestalt einer dünnen Wand oder Spalte auftreten. Diese Einfaltung ist entweder activ, indem der Primordialschlauch selbständig nach innen wächst, oder aber passiv, indem er vermöge seiner Dehnbarkeit durch sein eigenes Ausscheidungsproduct nach innen geschoben wird. Im letztern Falle wäre eine blossе Wasserausscheidung aus mechanischen Gründen unwahrscheinlich; man müsste sich die Spalte zum mindesten mit einer wasserreichen Cellulose erfüllt denken, die aber desshalb noch nicht mikroskopisch nachweisbar zu sein braucht. Die Annahme einer Einfaltung führt unter allen Umständen zu der weitern Vorstellung, dass der Primordialschlauch an der Faltungsstelle durch Neubildung wachse.

Nach der andern Auffassung bildet sich an der Theilungsstelle eine Platte aus Schlauchsubstanz (Zellplatte nach Strasburger), welche sich in zwei Lamellen spaltet und zwischen denselben eine Cellulosewand oder Wasser ausscheidet. Diese Platte kann entweder schon von Anfang an die ganze Breite der Zelle einnehmen oder aber in Form einer nach innen fortwachsenden Ringleiste auftreten.

Alle bis jetzt festgestellten Thatsachen lassen sich in der einen und andern Weise erklären. In den extremen Fällen, wo die Scheidewandbildung scheinbar simultan erfolgt, wie z. B. bei der Bildung der Spezialmutterzellen mancher Monocotylen, muss selbstverständlich die Einfaltungstheorie ein rasches Fortschreiten der Falte nach innen voraussetzen. In den andern Fällen, welche das entgegengesetzte Extrem bilden, er-

wächst für die Zellplattentheorie die Nothwendigkeit, sich die Platte als schmale Ringleiste vorzustellen:

Um bei dieser Sachlage die Einfaltungstheorie, die wir sowohl aus thatsächlichen, wie aus theoretischen Gründen für die wahrscheinlichere halten, als eine allgemeingültige festzustellen, müsste bei der scheinbar simultanen Scheidewandbildung der Primordialschlauch auf seiner Wanderung nach innen fixirt werden. — Andererseits ergibt sich aus der Zellplattentheorie die Wahrscheinlichkeit, dass die Scheidewandbildung in einzelnen, wenn auch vielleicht seltenen Fällen, in der Mitte beginnt, so dass das zuerst entwickelte Wandstück noch keinen Anschluss an die Seitenwandungen zeigt. Ein solcher Zustand ist bis jetzt nicht beobachtet worden.*)

- 558 Ausser den drei im Vorhergehenden besprochenen typischen Vorgängen kommen, besonders bei der Fortpflanzung, Zellbildungen vor, welche zwischen jenen mannigfache Uebergänge darstellen und die man je nach dem vorwiegenden Character dem einen oder andern Typus beizählen kann.

II.

Die Gesetze der Zelltheilung.

- 559 Die Gesetze der Zelltheilung lassen sich natürlich nur an solchen Zellcomplexen studiren, bei denen die Aufeinanderfolge der Scheidewände sich entweder aus der Lagerung der Zellen oder aus der relativen Dicke der Wandungen oder durch Vergleichung der verschiedenen Entwicklungsstadien mit Sicherheit ableiten lässt. Dass hiebei, wie bei allen Untersuchungen, vor Allem eine praktische Schule nothwendig ist, um jede beobachtete Thatsache richtig deuten und verwerthen zu können, bedarf keiner Erörterung. Ebenso klar ist aber auch, dass in der Praxis nicht bloss die Uebung an und für sich, sondern auch die Methode ins Gewicht fällt, in der man sich übt. Beim Studium der Gewebebildung ist diess erfahrungsgemäss so entschieden der Fall, dass es uns nothwendig erschien, den einschlägigen Untersuchungsmethoden ein vielleicht über Verhältnisse ausführliches Capitel zu widmen. Hiezu gab uns überdiess noch die weitere Erfahrung Veranlassung, dass gerade diese Richtung der mikroskopischen Forschung noch lange nicht die Anerkennung erlangt hat, die sie vermöge

*) Bei Untersuchungen dieser Art genügt es nicht, die unveränderte Zelle zu beobachten. Es ist unbedingt nothwendig, durch wasserentziehende Mittel das genaue Verhalten des Primordialschlaches in den verschiedenen Stadien der Theilung klar zu legen, — eine Methode, welche Strasburger (über Zellbildung und Zelltheilung), der die Zellplattentheorie zu begründen suchte, leider nicht angewandt hat. *3. Aufl.*

ihrer Bedeutung für die Wissenschaft verdient. Hört man ja doch heut zu Tage noch einzelne Stimmen, welche das Studium der Zelltheilungen geradezu für eine minutiöse Spielerei erklären, die zu keinem sichern Ergebniss führen könne, — als ob zu den Bedingungen der Erkenntniss des fertigen Zustandes nicht auch die Art und Weise gehörte, wie er geworden ist.

Wir haben in Folgendem die zu untersuchenden Objecte in Zellreihen, 560 Zellflächen und Zellkörper eingetheilt, weil der Anfänger sich bei dieser Eintheilung am leichtesten zurecht findet. Der speziellen Betrachtung dieser drei Kategorien wollen wir hier nur einige wenige allgemeine Bemerkungen vorausschicken.

Die Theilungsvorgänge lassen sich immer am besten verfolgen, wenn die Objecte, die man zu untersuchen beabsichtigt, in lebhaftem Wachsthum begriffen sind. Man hat alsdann die grösste Wahrscheinlichkeit für sich, schon unter einer kleinern Zahl von Präparaten solche zu finden, bei denen die letzten Wände sich kurz vorher gebildet haben und daher um so leichter zu erkennen sind. Die glückliche Wahl der Objecte und unter Umständen eine zweckentsprechende Cultur der betreffenden Pflanze, wobei die Zellen etwas grösser oder durchsichtiger werden u. dgl., sind daher bei solchen Untersuchungen von grosser Bedeutung.

Aus der Anordnung der Zellen kann nur dann auf die Entwicklungsfolge der Scheidewände geschlossen werden, wenn die gegenseitige Lage der letztern im Wesentlichen mit der ursprünglichen, wie sie durch die Theilung bedingt ist, übereinstimmt. Diess ist der Fall a) wenn das Wachsthum nach stattgefundener Theilung fast gänzlich aufhört; b) wenn die Theilzellen sich zwar allseitig ausdehnen, dabei aber ihre Gestalt nicht merklich ändern; c) wenn die Theilungsvorgänge so rasch aufeinander folgen, dass die inzwischen eintretenden Formveränderungen relativ klein erscheinen. In allen andern Fällen sind die auf die Gruppierung der Zellen basirten Schlüsse entweder ungerechtfertigt, oder es fehlen überhaupt alle Anhaltspuncte, um irgend welche Schlüsse zu ziehen.

Die Gestaltveränderungen, welche die Zellen in Folge ihres weitem Wachstums erfahren und wodurch ihre ursprüngliche Anordnung oft total verwischt wird, müssen für sich allein zum Gegenstand der Untersuchung gemacht werden. Welcher Art sind diese Veränderungen? Ist es bloss das Bestreben der Zellen sich abzurunden, welches dieselben hervorruft, wie man diess wohl bei Zellfäden mit tonnenförmigen Gliederzellen und ebenso bei isodiametrisch-parenchymatischen Geweben höherer und niederer Gewächse annehmen kann? Oder liegt denselben die ausgesprochene Neigung der Zellen zu Grunde, eine bestimmte Form anzunehmen, wie z. B. bei den sternförmigen Verzweigungen derselben, bei der Streckung in einer bestimmten Richtung, bei der Bildung von Ausbuchtungen an einzelnen Zellen u. s. w. Auch die Drehungen der Zellen oder ganzer Organe, sowie

das ungleichmässige Wachsthum ursprünglich gleicher Zellen oder Zell-complexe, wodurch Veränderungen der Stellung seitlicher Organe bewirkt werden, gehören hieher.

Der Aufbau der Gewebe ist überhaupt erst dann als erledigt zu betrachten, wenn ausser der Entwicklungsfolge der Scheidewände auch alle Formveränderungen bekannt sind, welche die Zellen im Verlaufe des weitem Wachsthums erfahren.

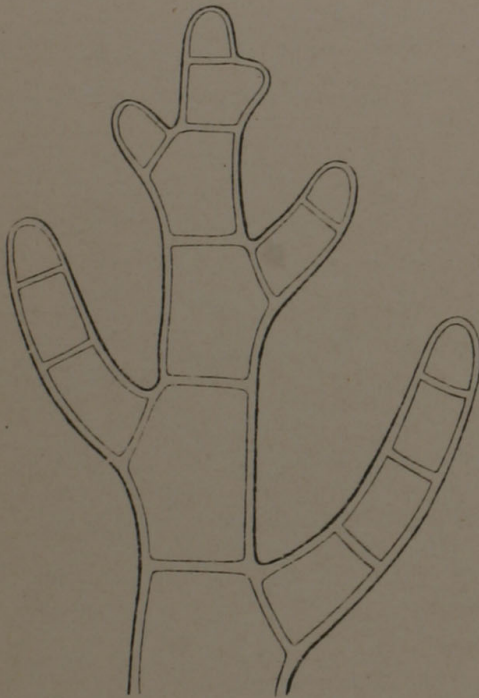
1. Zellreihen.

561 Eine einfache Zellreihe ist unter dem Mikroskop leicht daran zu erkennen, dass sie nur quer zur Längenausdehnung gestellte Scheidewände, aber selbst beim Drehen um ihre Axe keine Längswände zeigt. Die Fragen, welche bei einem solchen Zellfaden in Betreff der Wachsthumsvorgänge zu beantworten sind, können sich demgemäss, da von Richtungsverschiedenheiten nicht die Rede sein kann, nur auf die Unterschiede beziehen, welche zwischen den successiven Zellen der Reihe hinsichtlich ihres Theilungsvermögens denkbar sind.

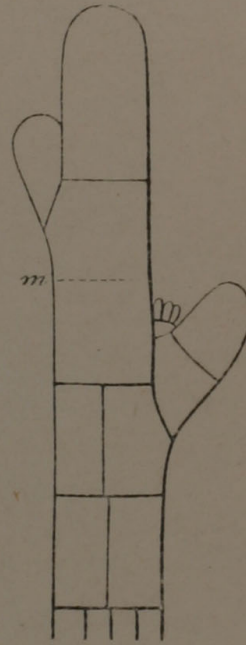
Es ist in erster Linie zu untersuchen, ob die Bildung neuer Scheidewände sich in allen Zellen, sowohl bei jüngern als bei ältern Fäden, mit ungefähr gleicher Lebhaftigkeit wiederhole, oder ob gewisse Zellen früher, andere später sich zu theilen aufhören. Die Kennzeichen, welche hierüber Aufschluss geben, sind je nach der Natur der Pflanze verschieden; bald sind es die Einkerbungen am Rande oder die ungleiche Dicke der Scheidewände, bald die relativen Längen der Zellen, bald die Schichten der Wandung, bald auch das mehr oder minder jugendliche Aussehen der Membran — alles Verhältnisse, welche der Anfänger, wenn er darauf achtet, leicht deuten lernt.

Ist die Theilungsfähigkeit der einzelnen Zellen ungleich, hat man es z. B. mit dem häufig vorkommenden Falle zu thun, dass die Endzellen sich anders verhalten als die Gliederzellen, indem sie entweder fortwährend, so lange das Organ wächst, oder doch bis zu einem gewissen Stadium der Entwicklung, sich augenscheinlich vorwiegend am Aufbau betheiligen (Scheitelwachsthum), so stellt sich dem Beobachter die weitere Aufgabe, die vorkommenden Verschiedenheiten genau zu präcisiren. Beruht vielleicht der ganze Unterschied darauf, dass gewisse Glieder der Reihe sich nicht mehr theilen, indess die übrigen sich unbegrenzt zu theilen fortfahren, wie z. B. bei den Nostocheen und den Gonidienketten der Collemmeen? Oder handelt es sich zunächst um den Gegensatz zwischen Endzellen und Gliederzellen, und wenn diess der Fall, sind diese letztern überhaupt theilungsfähig oder nicht? Verhalten sich die Gliederzellen, wenn sie theilungsfähig sind, unter sich gleich, oder theilen sich die einen häufiger als die andern? Ist die Zahl der Theilungen eine bestimmte oder

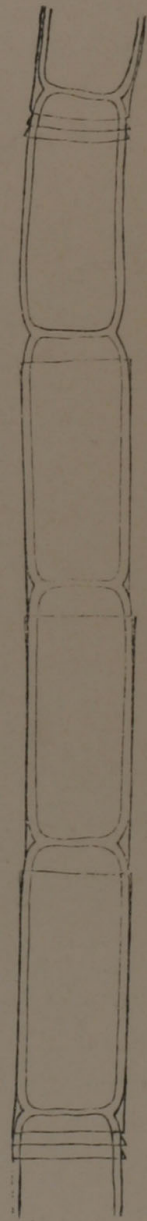
unbestimmte, vielleicht 1, 2, 3 oder darüber? Wie stark ist das Längen- und Dickenwachsthum der ursprünglichen Gliederzellen, vom Zeitpunkte an gerechnet, wo sie von der Scheitelzelle abgeschnitten werden, bis sie aufhören zu wachsen? Das sind die Fragen, die sich hier aufdrängen und die auch bei der Untersuchung körperlicher Gebilde, so oft es sich um die Entwicklung von Zellreihen (im Cambium, Periderm, in der Rinde etc.) handelt, immer wiederkehren. Sie sind in manchen Fällen sehr leicht, in andern etwas schwieriger zu beantworten; oft bleiben auch einzelne Punkte zweifelhaft. Das Verfahren, das man bei der Untersuchung zu beobachten hat, mag am besten an einigen Beispielen erläutert werden.



Figur 251.



Figur 252.



Figur 253.

In Fig. 251 beobachtet man schon an den jüngsten Gliederzellen Andeutungen der Verästelung. Die Aeste werden nach unten von Glied zu Glied grösser und die Gliederzellen selbst etwas länger und dicker, ohne dass neue Scheidewände zwischen den Aesten gebildet würden. Hier findet also keine Theilung der Gliederzellen des Stammes statt. Dasselbe Gesetz gilt auch, wie sich aus der stetigen Längenzunahme der Glieder und der eben so stetigen Dickenzunahme der Scheidewände ergibt, für sämtliche Aeste. In Fig. 252 (Thallomende von *Sphacelaria*) ist dagegen das Auftreten neuer Scheidewände (*m*) zwischen schon vorhandenen unzweifelhaft; jede Gliederzelle theilt sich aber nur einmal, wie man aus der spätern Vertheilung der Aeste und der Länge der Zellen ersieht (*Chara*, *Sphacelaria*, *Cladoste-*

phus). Eine öftere Theilung hat dagegen in Fig. 253, die eine ursprüngliche Gliederzelle eines Oedogonium-Fadens darstellt, stattgefunden. Hier entspricht die Zahl der später entstandenen Scheidewände derjenigen der Querstreifen (Kappen) an der obersten Theilzelle, — ein Verhältniss, das natürlich vorerst durch das Studium des Theilungsvorganges selbst festgestellt sein muss.*) Ebenso ist in Fig. 254 die intercalare Theilung der Gliederzellen durch die Einschachtelung der Schichten und die ungleiche Dicke der Wände (im Holzschnitt nicht deutlich genug hervorgehoben) genau bestimmt. Ähnliche Anhaltspunkte bieten sich auch in vielen andern Fällen, und es gehört mit zur Aufgabe des Beobachters, dieselben zu finden.

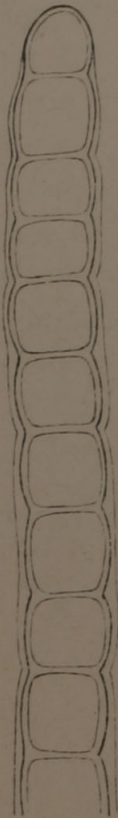


Fig. 254.

Gelingt es nicht, den ganzen Aufbau genau zu ermitteln, so ist es doch immer möglich, die allgemeineren Gesetze desselben festzustellen. Für die Flechtenfasern gilt z. B. die Regel, dass die Fasern, welche die Rinde bilden, sich bis auf eine gewisse Entfernung von der Oberfläche zu theilen fortfahren, während im Innern des Thallus bloss Verästlung, aber keine Theilung der Gliederzellen mehr stattfindet. Wie sich die Enden der Aeste verhalten, welche im Marke verlaufen, bleibt noch zu ermitteln; nur soviel ist sicher, dass ihre ältern Gliederzellen sich ebenfalls nicht mehr theilen.

2. Zellflächen.

562 Mit dem Ausdruck Zellfläche bezeichnen wir einen Zellcomplex, welcher aus einer einzigen Lage von Zellen besteht: Das Erkennen solcher Complexe unter dem Mikroskop bietet keinerlei Schwierigkeiten; bei kleinern Objecten, wie z. B. bei den Täfelchen von *Pediastrum*, bei einzelnen parenchymatischen Sporen u. dgl. geben hierüber die verschiedenen Ansichten, die man beim Drehen erhält, bei grössern blattähnlichen Gebilden die senkrecht zur Flächendimension geführten Durchschnitte zuverlässige Auskunft.

Die Theilungsvorgänge, welche den Aufbau einer Zellfläche vermitteln, bieten zunächst, ähnlich wie bei den Zellreihen, alle die Verschiedenheiten und Combinationen dar, welche mit Rücksicht auf das Theilungsvermögen der einzelnen Zellen denkbar sind. Dazu kommen aber noch die Unterschiede bezüglich der Theilungsrichtung, indem die auftretenden Scheidewände in den verschiedenen Regionen der Fläche ungleich gestellt sein können. Es giebt hienach

a) Zellflächen mit unter sich gleichwerthigen Elementen, welche sich

*) Vgl. hierüber p. 547.

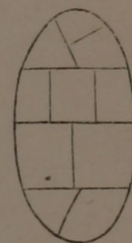
sämmtlich in gleicher Weise zu theilen fortfahren, so lange das Organ wächst;

b) solche, in welchen nur die Randzellen unter sich übereinstimmen, indess die den Rand nicht berührenden Flächenzellen sich abweichend verhalten, sei es, dass sie sich gar nicht theilen oder dass sie eine nach Richtung und andern Merkmalen verschiedene Theilungsfähigkeit besitzen;

c) solche, bei welchen zu dem Gegensatz zwischen Rand- und Flächenzellen noch weitere Verschiedenheiten zwischen den Randzellen unter sich oder zwischen den Flächenzellen unter sich hinzukommen.

Ob ein zu untersuchendes Object in die erste, zweite oder dritte Kategorie gehöre, muss hier vorzugsweise aus der Gruppierung der Zellen in Reihen oder kleinere Complexe und aus dem mehr oder minder jugendlichen Aussehen des Gewebes erschlossen werden, was in manchen Fällen ohne alle Schwierigkeit möglich ist. Oft genügt sogar ein flüchtiger Blick, um eine bestimmte Region als die vorzugsweise bildungsfähige und gewisse Zellen derselben als besonders ausgezeichnete zu erkennen.

Eine grössere Aufmerksamkeit erfordern im Allgemeinen die Theilungsvorgänge selbst. Am leichtesten sind sie natürlich bei kleinern Gruppen zu ermitteln, welche nach stattgefundener Theilung keine Formveränderung erleiden und überdiess in den verschiedensten Entwicklungsstadien zu haben sind. Wie eine mehrzellige Brutknospe oder Spore (Fig. 255) sich aufbaut, lässt sich zuweilen ohne Weiteres aus der gegenseitigen Lage der Scheidewände erkennen; in andern Fällen genügt es, einige jüngere Zustände damit zu vergleichen, um sich über die zweifelhaften Punkte aufzuklären. Das Nämliche gilt hie und da sogar von beträchtlich grössern Zellflächen. — Ebenso bieten auch die zu a) gehörigen Objecte keine erheblichen Schwierigkeiten, da es sich hier nur um die Frage handeln kann, ob die Scheidewände eine gesetzmässige Stellung einnehmen, oder ob sie regellos nach den verschiedenen Richtungen der Fläche orientirt seien.



Figur 255.

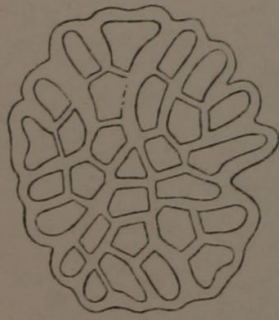
Es bleiben also nur die Theilungsvorgänge in Zellflächen von grösserer 563
Ausdehnung, und soweit sie den unter b) und c) erwähnten Kategorieen angehören, ausführlicher zu besprechen übrig. Hier ist vor Allen ein strenges Auseinanderhalten der Randzellen und der den Rand nicht berührenden Flächenzellen geboten, d. h. es ist nothwendig, das durch jene bedingte periphere Wachsthum und das intercalare der Flächenzellen gesondert zu betrachten.

Halten wir uns zunächst an das periphere Wachsthum, so ist leicht einzusehen, dass die Randzellen mit den ursprünglichen Flächenzellen, welche durch die successiven Theilungen von jenen abgeschnitten werden, ein System von Zellreihen oder Zellfäden repräsentiren, von denen

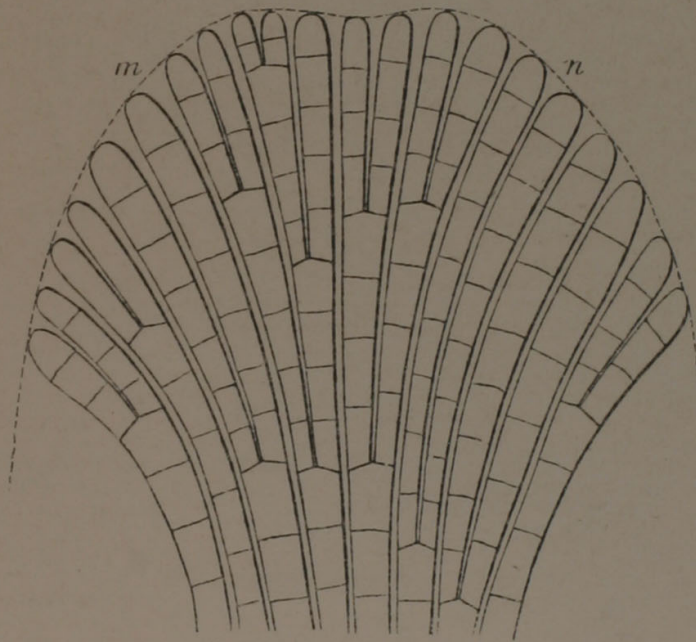
jeder sein selbständiges Wachsthum besitzt. Jede Randzelle ist die Scheitelzelle eines solchen Fadens, und die sämtlichen Flächenzellen gruppieren sich genetisch in Reihen von Gliederzellen. Alle Eigenthümlichkeiten des peripherischen Flächenwachsthums sind hienach zurückzuführen auf solche von Zellreihen. Einige Beispiele mögen zeigen, welcher Art die hier vorkommenden Verschiedenheiten sind.

In Fig. 256 ist die Flächenansicht eines Vorkeims von *Acrochaetium pulvereum* Näg. dargestellt. Man sieht auf den ersten Blick, dass das Wachsthum hier ein allseitig gleichmässiges ist, indem die radialen Zellreihen sich nach einwärts bis auf einen ziemlich centralen Punct verfolgen lassen. Die Scheidewände, welche man in den Randzellen beobachtet, zeigen überdiess deutlich, wie die Vermehrung der Reihen mit zunehmendem Umfang stattfindet. Ebenso geht aus der ganzen Anordnung der Zellen und der gleichmässigen Dicke der Scheidewände unzweifelhaft hervor, dass intercalare Zelltheilungen hier nicht stattgefunden haben. Zur Vervollständigung der Wachsthumsgeschichte bleibt also nur noch übrig, die jüngsten Zustände zu vergleichen, um hier die ersten Theilungen zu ermitteln.

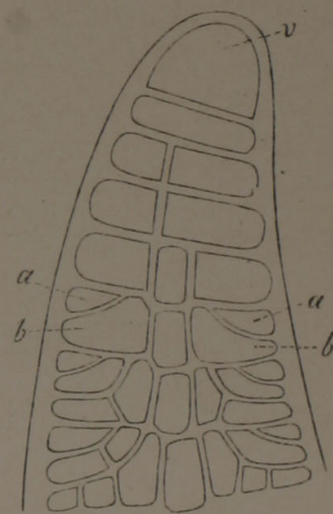
Als zweites Beispiel ist in Fig. 257 die Thallusspitze von *Stypopodium atomarium* Ktz. veranschaulicht. Die Abbildung ist halbschema-



Figur 256.



Figur 257.



Figur 258.

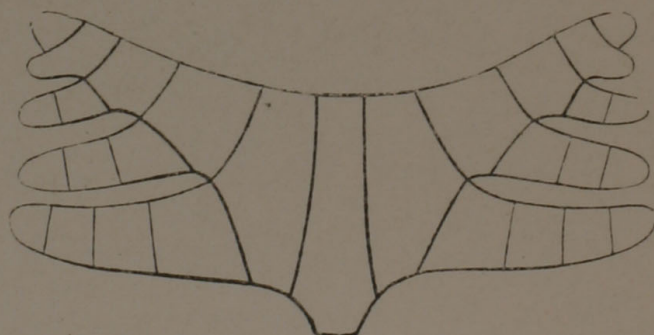
tisch, indem die Zellreihen, welche in Wirklichkeit zum Gewebe verbunden sind, hier als getrennte Fäden erscheinen. Der Verlauf dieser Fäden, welcher auch am Object selbst deutlich hervortritt, und die äussere

Gestalt der ganzen Zellfläche zeigen unverkennbar, dass das Wachstum nicht, wie im vorhergehenden Falle, ein allseitig gleichmässiges ist, sondern in der Zone zwischen *m* und *n* mit weitaus vorwiegender Lebhaftigkeit von statten geht. Man hat es also mit einer Zellfläche zu thun, welche eine vorzugsweise bildungsfähige Region besitzt, die man desshalb als Scheitelregion bezeichnen kann.

Ein ferneres Beispiel eines ausgesprochenen Scheitelwachstums liefert 564 die Thallusspitze von *Delesseria Hypoglossum* (Fig. 258). Hier ist es eine bestimmte Randzelle, die Scheitelzelle *v*, welche sich vor allen andern dadurch auszeichnet, dass sie allein das Längenwachstum der Zellfläche vermittelt, indem sie sich immer wieder durch senkrecht zur Längsrichtung gestellte Wände theilt. Die Thallusspitze verhält sich also gewissermaassen wie ein einfacher Zellfaden: sie besteht aus einer Scheitelzelle und den davon abgeschnittenen Gliederzellen; das Unterscheidende liegt blos darin, dass die letztern sich nach verschiedenen Richtungen weiter theilen. Man ersieht aus der Figur, dass in den Gliederzellen zunächst eine excentrische Längswand auftritt, dann eine zweite symmetrische auf der andern Seite, so dass dadurch eine aus zwei gleichwerthigen Randzellen und einer mittlern Flächenzelle bestehende Querreihe gebildet wird. Die Randzellen theilen sich nun durch schiefe und etwas gebogene Wände in zwei, worauf der innere Theil der untern durch eine kurze Scheidewand, die sich oberseits an die gebogene ansetzt, abgeschnitten und zur Flächenzelle wird, während der äussere als Randzelle weiter wächst. Die beiden neben einander liegenden Randzellen *a* und *b* verhalten sich von jetzt an wie die Scheitelzelle eines Zellfadens; sie theilen sich durch Wände, welche mit den eben beschriebenen annähernd parallel laufen. Der von der obern Randzelle durch jede neue Scheidewand abgeschnittene Theil berührt mit seiner Aussenseite die Peripherie, ist also abermals eine Randzelle. Dieselbe theilt sich, wie die mit ihr gleichwerthige Zelle *b*, durch längsverlaufende Wände und zwar ebenfalls so, dass immer nur die den Rand berührende Zelle theilungsfähig bleibt.

Die Zellfläche, welche durch die angedeuteten Theilungsvorgänge gebildet wird, lässt sich also auch hier auf ein System von Zellfäden zurückführen, wie es in Fig. 259 für ein einzelnes Glied veranschaulicht ist.

Das Nämliche gilt schliesslich auch für diejenigen Zellflächen mit Scheitelzellen, bei denen die Theilung der letztern

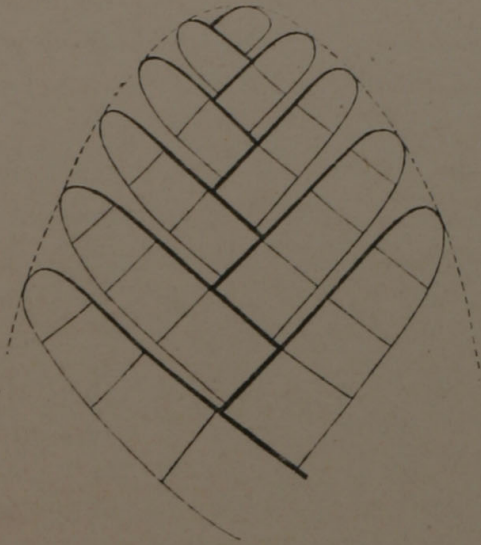


Figur 259.

durch abwechselnd nach rechts und links geneigte Wände erfolgt, wie es z. B. beim Moosblatt der Fall ist. Sie lassen sich sämtlich in Sympodien

von Zellfäden auflösen, deren Scheitelzellen sich durch successive Querwände theilen (Fig. 260).

565

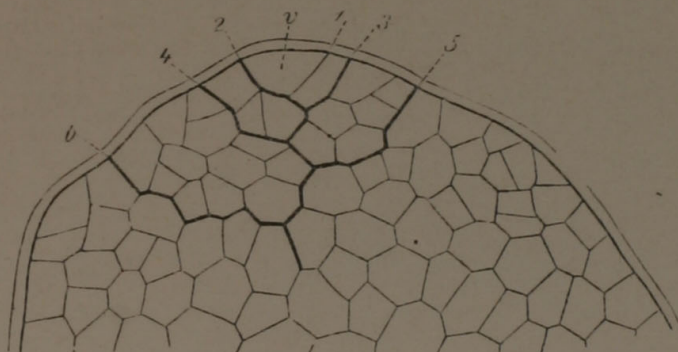


Figur 260.

Die Frage, ob eine Scheitelzelle vorhanden sei oder ob die Zellfläche mit mehreren oder vielen unter sich gleichwerthigen Randzellen, welche in der Krümmung der Scheitelregion liegen, in die Länge wachse, ist übrigens nicht immer so leicht zu entscheiden. Es kann im Gegentheil vorkommen, dass hierüber selbst der geübte Beobachter erst nach Vergleichung zahlreicher Präparate zu einer bestimmten Anschauung gelangt, indem Organe, welche nachweisbar

eine Scheitelzelle besitzen, bei oberflächlicher Betrachtung oft gerade so aussehen, wie solche mit vielen Scheitelzellen. Dieser Fall muss in mehr oder minder täuschendem Grade immer eintreten, sobald die von der Scheitelzelle abgeschnittenen Glieder oder Segmente ein starkes peripherisches und intercalares Wachsthum zeigen, wobei zugleich die in den Randzellen auftretenden Scheidewände ähnlich gestellt sind, wie die successiven Wände der Scheitelzelle.

In Fig. 261 und 262 sind beispielsweise zwei Zellflächen, welche die bezeichneten Bedingungen erfüllen, abgebildet; Fig. 261 stellt das Thallomende von *Nitophyllum laceratum*, Fig. 262 dasjenige von *Delesseria sinuosa* dar. Die Scheitelzellen sind bei beiden mit *v* bezeichnet und die



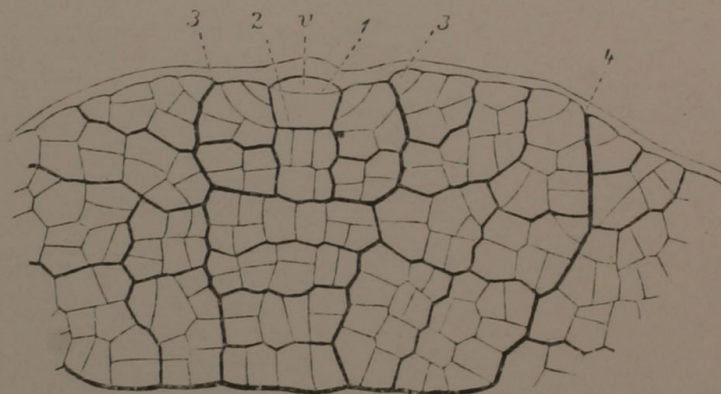
Figur 261. (400)

den ersten Theilungen entsprechenden Wände im Gewebe, wenigstens in der Nähe der Scheitelzelle, durch stärkere Linien hervorgehoben. Wie man aus den Figuren ersieht, geschieht das Scheitelwachsthum bei *Nitophyllum* durch alternirend nach rechts und links geneigte

Wände, welche indess durch die spätern Wachsthumerscheinungen bald zickzackförmig gebrochen werden und in einiger Entfernung von der Scheitelzelle nicht mehr erkennbar sind; die Ziffern 4 bis 6 bezeichnen die

Reihenfolge derselben von oben nach unten. Bei *Delesseria* dagegen erfolgt die Theilung durch Querwände (4 bis 4 in der Figur); man hat es hier mit aufeinander folgenden Gliedern zu thun, von denen die ältern beiderseits über die jüngern hinaufwachsen. Jedes Glied theilt sich zunächst, ganz wie bei *Delesseria* Hypoglossum, in zwei Randzellen und eine mittlere; allein hier ist die letztere, wie alle folgenden Flächenzellen, selbst wieder theilungsfähig.

Wir bemerken noch, dass die in den Zeichnungen durch stärkere Linien hervorgehobenen Wände am Object selbst keineswegs in diesen Ab-



Figur 262. 400

stufungen hervortreten, sondern im Gegentheil oft fast gar nicht von den übrigen verschieden sind. Die zusammengehörigen Zellgruppen lassen sich erst nach Zusatz von Quellungsmitteln einigermaßen überblicken, und selbst dann ist es immer unerlässlich, zahlreiche Thallusenden zu untersuchen und die günstigsten zu combiniren, um den Aufbau bis zu einer vorgerücktern Stufe der Entwicklung Zelle für Zelle festzustellen.

Die Entwicklungstypen der Zellflächen mit marginalem Wachstum ordnen sich nach dem Vorhergehenden in zwei Hauptgruppen, die sich durch folgende Merkmale kennzeichnen:

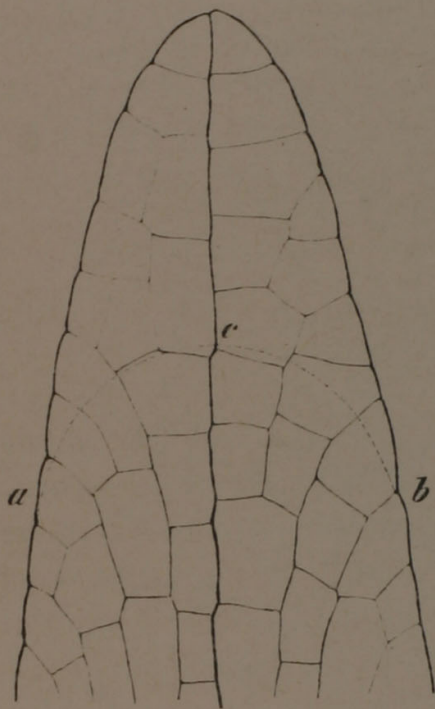
1) Die Randzellen sind unter sich gleichwerthig und von gleichem Wachstumsvermögen. Die Zellfläche erhält alsdann einen kreisförmigen Umriss, wie z. B. der Thallus von *Melobesia* und der Vorkeim von *Acrochaetium* (Fig. 256).

2) Die Randzellen besitzen ungleiches Wachstumsvermögen. Diejenigen, welche am Vorderrande liegen, wachsen rascher und bilden in Folge dessen die Scheitelregion des Sprosses (Fig. 257). Längen- und Breitenwachstum sind differenzirt.

Diese beiden Typen lassen sich in Gedanken durch alle möglichen Uebergänge verbinden. Es unterliegt daher keiner Schwierigkeit, den einen aus dem andern abzuleiten und die Zwischenglieder in beliebigen Abstufungen durch die Construction zu veranschaulichen. Dagegen verlangt die Frage, ob das Wachstum durch zahlreiche terminale Randzellen

ohne sprungweise Aenderung in ein solches mittelst zweier oder einer einzigen Scheitelzelle übergehen könne, eine genauere Prüfung. Denn ob schon die Möglichkeit einer allmählichen Verminderung der Scheitelzellen bis auf eine gewisse Grenze sofort einleuchtet, so ist doch nicht ohne Weiteres klar, dass diese Reduction in der Ein- oder Zweizahl ihren naturgemässen Abschluss findet. Andererseits erlangt aber gerade diese Frage für alle Diejenigen, welche die Wachstumsformen im Lichte der Descendenztheorie zu betrachten gewohnt sind, eine principielle Bedeutung.*)

Untersuchen wir zunächst den Fall, wo die Berührungslinie der mittlern Zellreihen mit der Mediane des Sprosses zusammenfällt (Fig. 263). Die Herabminderung der Scheitelzellen bis auf zwei kann alsdann nach dem



Figur 263.

in unserer Figur wiedergegebenen Schema gedacht werden. Der Spross verhält sich bis zur Höhe *acb* wie *Stypopodium*. Weiter nach oben zeigen die mittlern Zellreihen ein relativ stärkeres Wachstum; sie nehmen bald die ganze Breite der schmaler gewordenen Scheitelregion ein, und zugleich erhalten die neu auftretenden Theilwände eine von der frühern mehr und mehr abweichende Orientirung. Das Sprossende sieht jetzt ungefähr aus, als wären zwei Zellflächen, jede mit einer Scheitelzelle wachsend, der Länge nach neben einander gelegt und zu einem Ganzen vereinigt. Nimmt man nun weiter an, die eine der beiden Zellflächen bleibe in der Entwicklung zurück, so gelangt man auf diesem Wege zu einer einzigen Scheitelzelle. — Liegt eine mittlere Zellreihe

genau axil, so muss sie bei fortschreitendem Wachstum an Breite zunehmen. Ihre Endzelle theilt sich in Folge dessen früher oder später, beispielsweise durch eine axile Wand, in zwei Zellen, und von diesem Augenblicke an ist dieser Fall mit dem vorhergehenden identisch.

Ein Uebergang von einem mehrzelligen Scheitel zu einem einzelligen, also beispielsweise von *Padina* und *Stypopodium* zu *Dictyola* kann hienach stattfinden, ohne dass eine sprungweise Aenderung in der Natur

*) Uebergänge von einer Wachstumsform zur andern müssen phylogenetisch so stattfinden, dass die Abweichungen innerhalb der individuellen Veränderlichkeit liegen. Der Betrag dieser letztern ist durch Beobachtung zu bestimmen. Aber es ist nicht wahrscheinlich, dass Dinge, welche in ganzen Gruppen constant sind, so leicht variiren. Eine Erscheinung ist um so mehr der individuellen Abänderung entrückt, je mehr sie Merkmal einer höhern systematischen Einheit (Ordnung etc.) ist.

der Zellen nothwendig wäre. Das Zurückbleiben einer Scheitelzelle hinter einer andern kann hier, wo Rand und Mitte gleichwerthig sind, nicht als Sprung gedeutet werden, da hiebei der morphologische Character der Zellen unverändert bleibt.

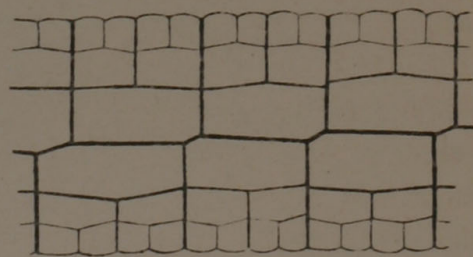
Die intercalaren Zelltheilungen, welche in den von den Rand- 566 zellen abgeschnittenen Flächenzellen, den Gliederzellen der Reihen, nachträglich stattfinden, lassen sich in allen Fällen, wo das peripherische Wachsthum genau bekannt ist, leicht übersehen. Man hat nur nöthig, sich den Aufbau des Zellennetzes, welches durch die Theilungen der Randzellen gebildet wird, klar vorzustellen oder auf dem Papier zu construiren: die intercalaren Wände erscheinen alsdann als eingeschobene Stücke. So lässt sich z. B. aus der Stellung der Scheidewände im Blatte von *Sphagnum* leicht entnehmen, dass jede Zelle der schief verlaufenden Reihen, aus welchen die Zellfläche besteht, sich zuletzt durch eine Querwand und hierauf die untere Theilzelle durch eine Längswand theilt. Gewöhnlich gehen diesem Theilungsvorgang noch andere intercalare Theilungen voraus, die sich aber in dem ursprünglichen Zellennetz ebenso leicht erkennen lassen. Erst wenn die Zahl der intercalaren Scheidewände beträchtlich grösser ist, wie in den oben erwähnten Thallusenden von *Delesseria sinuosa* und *Nitophyllum laceratum*, ist die Ermittlung der Aufeinanderfolge mit Schwierigkeiten verbunden und zwar mit um so bedeutenderen, je stärker die Formveränderungen der Zellen.

3. Zellkörper.

Als Zellkörper bezeichnen wir diejenigen Zellcomplexe, welche aus 567 zwei oder mehrern Lagen von Zellen bestehen. Da die äussern Formen derselben sehr verschieden sind und die Wachstumsverhältnisse theilweise damit im Zusammenhang stehen, so müssen folgende Fälle unterschieden werden.

a) Zellkörper, welche aus Zellflächen entstehen.

Es giebt blattähnliche Gebilde, deren Scheitelregion aus einer Lage, wenn auch nur von wenigen Zellen besteht, indess die ältern Partien derselben zwei oder mehrere solcher Lagen aufweisen. Man hat es in solchen Fällen mit Organen zu thun, bei welchen auf das Flächenwachsthum ein davon durchaus unabhängiges Dickenwachsthum folgt, das sich bald auf die ganze Breite ausdehnt, bald auf einen mittlern



Figur 264.

Theil beschränkt bleibt. Die Theilungsvorgänge, welche dieses Dickenwachsthum bedingen, können indess auf Durchschnitten, welche senkrecht zur Flächenausdehnung geführt wurden, genau in derselben Weise ermittelt werden, wie die Theilungen bei Zellflächen, und bedürfen daher keiner weitem Erörterung. Das Wachsthum kann auch hier ein rein peripherisches sein, indem stets nur die die Oberfläche berührenden Zellen theilungsfähig sind, oder es können auch die im Innern liegenden Zellen sich wieder theilen. Das erstere ist z. B. der Fall bei *Delesseria*, bei *Stypopodium* (Fig. 264, Stück eines Querschnittes durch die Thallomspitze), das letztere bei der Mittelrippe der Moosblätter. Wo die Reihenfolge der Scheidewände im fertigen Zustande zweifelhaft ist, muss dieselbe, wie immer, nach Quer- oder Längsschnitten durch jüngere Entwicklungsstadien festgestellt werden.

b) Kleinere Zellgruppen, welche aus einer einzigen Zelle entstehen.

568 Das Studium solcher Zellgruppen, denen man bei einzelligen Algen, Flechtengonidien, Drüsenhaaren etc. häufig begegnet, beginnt naturgemäss mit der Ermittlung der anatomischen Verhältnisse: die Anordnung der Zellen im entwickelten oder doch in einem vorgerücktern Zustande muss zuerst bekannt sein, ehe man die Frage aufwerfen kann, wie sie zu Stande kommt. Zu diesem Behufe muss das Object, auch wenn es nur aus zwei übereinander liegenden Zellenlagen besteht, unter dem Mikroskop so lange gedreht werden, bis man das Zellennetz der Oberfläche zu construiren im Stande ist und die einzelnen Zellen in jeder beliebigen Lage wieder erkennt. Diese Manipulation setzt allerdings einige Uebung voraus, doch kann sie in der Regel dadurch bedeutend erleichtert werden, dass man das Deckgläschen mit dem einen oder mit beiden Rändern auf Papierstreifen legt. Die letztern bilden alsdann beim Drücken mit der Nadel eine elastische Unterlage, welche eine langsame Strömung im Wasser und damit eine langsame Drehung des Objectes hervorzurufen gestattet.

Um zu ermitteln, ob alle Zellen der Gruppe die Oberfläche berühren, oder ob vielleicht einzelne im Centrum liegen, welche allseitig umschlossen sind, ist es oft zweckmässig und ausreichend, den Zellinhalt durch wasserentziehende Reagentien zu contrahiren. Dadurch wird es möglich, eine grössere Zahl von Zellen mit einem Blick zu übersehen und die übereinander liegenden Zellen in ihren natürlichen Niveauverhältnissen zu beobachten. So z. B. bei den Gonidiengruppen der Flechten, den Keimhäufchen und Antheridien der Florideen in den ersten Entwicklungsstadien, den Brutknospen der Moose und Lebermoose, den Colonieen einzelliger Algen etc. Sind die Complexe grösser, so führt in manchen Fällen ein Durchschneiden derselben zum Ziel, was namentlich bei solchen, die man

ohne Nachtheil in Gummi eintrocknen lassen darf, sich ohne alle Schwierigkeit ausführen lässt. — Uebrigens ist das Studium der Zelltheilungen in kugelförmigen Gebilden eine der schwierigsten Aufgaben dieser Art, die bis jetzt nur für 2 bis 3 Zellenlagen im Durchmesser gelöst worden ist.

c) Zellkörper mit peripherischem Wachsthum ohne ausgezeichnete Scheitelzellen, meist durch bogenförmig gegen die Oberfläche verlaufende Zellreihen charakterisirt.

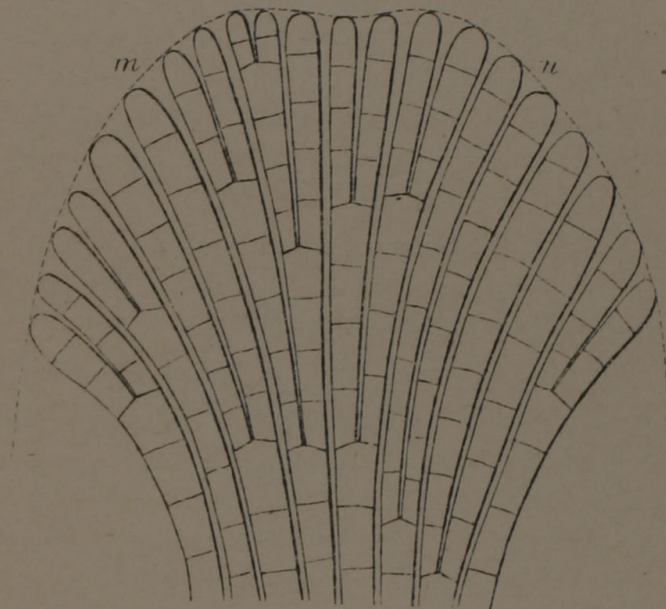
Lässt man die Zellflächen (Fig. 256 und 257), deren Wachstumsver- 569hältnisse oben besprochen wurden, in Gedanken um eine Längs- oder Queraxe rotiren, indem man zugleich den Verlauf der Zellreihen auf den durchlaufenen Raum überträgt, so geben die Körper, welche man auf diese Weise erhält, gewissermaassen einen Begriff von den Verschiedenheiten, welche zwischen den hieher gehörigen Wachsthumstypen obwalten. Eine kreisförmige Fläche mit ringsum gleichmässigem Wachsthum, oder ein beliebiger Abschnitt derselben, wird auf diese Weise zur Kugel oder zum Kugelsegment, in welchen beiden die Zellreihen strahlenförmig von innen nach aussen verlaufen. Ebenso entsteht durch Umdrehung der Fläche Fig. 257 (p. 560) um ihre Längsaxe ein cylindrischer Zellkörper mit Scheitelwachsthum, in welchem die Zellreihen nach allen Seiten bogenförmig gegen die Oberfläche divergiren, und in gleicher Weise lassen sich auch die laub- und krustenartigen Thallome der Algen und Flechten auf entsprechende Zellflächen zurückführen: sie repräsentiren im Raume das, was die erzeugende Fläche in der Ebene ist.

Die Fragen, welche bei der Untersuchung solcher Zellkörper zu entscheiden sind, ergeben sich hienach von selbst. Es handelt sich, wie bei den Zellflächen, zuerst um die Feststellung der peripherischen Wachsthumsvorgänge, und sodann in zweiter Linie um die intercalaren Theilungen der Innenzellen, d. h. der innerhalb der oberflächlichen Schicht gelegenen Gliederzellen der Reihen. Beides wird hier durch den Umstand erschwert, dass die bei der Theilung auftretenden Scheidewände nach verschiedenen Richtungen des Raumes orientirt sind und folglich nur durch Combination verschiedener Durchschnitte oder Durchschnittsansichten, namentlich radialer und tangentialer, räumlich construirt werden können. Wie diess geschieht, mag am besten durch einige Beispiele erläutert werden.

Denken wir uns, die Fig. 265 stelle einen longitudinalen Medianschnitt durch ein cylindrisches Thallom dar. Der Beobachter hat alsdann zunächst alle die Fragen zu lösen, die sich bei der einfachen Zellschicht ebenfalls darbieten, dazu aber ferner die Stellungsverhältnisse und die Aufeinanderfolge der Scheidewände zu ermitteln, welche in den Randzellen und vorkommenden Falls auch in den Innenzellen auftreten. In unserer Figur er-

gibt sich aus der Art, wie sich die Zellreihen aneinander anschliessen, dass die Verzweigung derselben in Folge des peripherischen Wachsthum's eine dichotomische ist, indem nie mehr als eine Zweigreihe von der nämlichen Gliederzelle abgeht. Ständen die Zwischenreihen gepaart oder in Quirlen, so müsste sich diess auf Längsschnitten ebenso deutlich kundgeben. Es bleibt also nur zu untersuchen, ob die auf einander folgenden Gabelungen derselben Reihe in Ebenen liegen, die sich rechtwinklig kreuzen oder irgend eine andere gesetzmässige Beziehung zu einander zeigen, und hierüber geben theils die Durchschnichtsansichten, theils die Ansichten der peripherischen Zellen von der Oberfläche die nöthigen Anhaltspunkte.

Die oben angestellten Betrachtungen über die Möglichkeit eines allmählichen Ueberganges zwischen Zellfäden mit bogenförmig divergirenden



Figur 265.

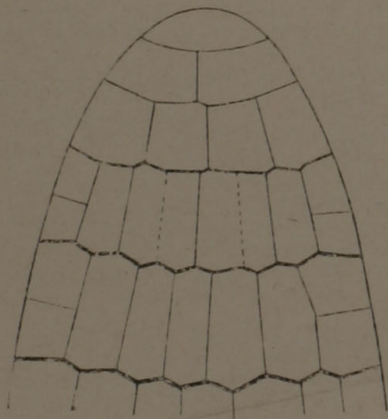
Zellreihen (Fig. 257) und solchen mit zwei oder einer einzigen Scheitelzelle lassen sich *mutatis mutandis* auch auf Zellkörper übertragen. Auch hier können die peripherischen Zellreihen eine nach der andern zurückbleiben, bis zuletzt nur zwei oder drei übrig bleiben. Von diesen ist der Uebergang zu einer einzigen Scheitelzelle in gleicher Weise möglich, wie oben bei der Zellfläche, — immer unter der Voraussetzung einfacher Theilungsvorgänge, wobei Rand und Mitte gleichwerthig sind.

d) Zellkörper, welche eine Scheitelzelle besitzen.

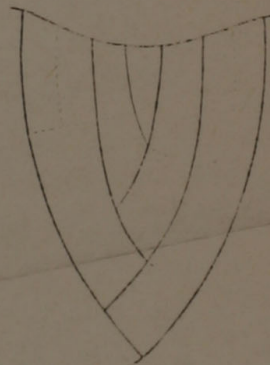
570 Ob ein zu untersuchendes körperliches Gebilde mit mehrern oder vielen Zellreihen in die Länge wachse, oder ob es eine einzige Scheitelzelle besitze, welche sich durch schiefe oder quergestellte Wände theilt, ist in manchen Fällen keineswegs leicht zu entscheiden. Die Zellkörper können

in dieser Beziehung zu den nämlichen Täuschungen Veranlassung geben, welche oben (p. 562) bei den Zellflächen erwähnt wurden. Es ist alsdann nothwendig, die Gruppierung der Zellen in der Scheitelregion, welche letztere schon durch den jugendlichen Habitus des Gewebes sich immer hinlänglich auszeichnet, auf Längs- und Querschnitten genau zu studiren und nöthigenfalls durch Constructionen auf dem Papier sich über das Zustandekommen der Reihen und Complexe, in welche die Zellen mehr oder minder deutlich geordnet erscheinen, Rechenschaft zu geben.

Auch die Theilungsweise der Scheitelzelle, ob durch Querwände oder durch schiefe, muss in schwierigen Fällen vorzugsweise aus der Stellung der Zellcomplexe erschlossen werden. In andern ist die Sache freilich sehr leicht. Es ist klar, dass eine Anordnung der Zellen wie in Fig. 266 nur durch successive Querwände, diejenige der Fig. 267 nur durch alternirend nach rechts und links geneigte Wände entstanden sein kann. Dieser letztere Typus wird allerdings etwas verwischt, wenn der Winkel, den die alternirenden Scheidewände mit einander bilden, sehr spitz ist, jedoch nur in dem Sinne, dass das Vorhandensein einer Scheitelzelle zweifelhaft wird; eine Verwechslung mit dem vorhergehenden ist in diesem Falle nicht möglich. Dagegen kann es vorkommen, dass je zwei alternirende Scheide-



Figur 266.



Figur 267.

wände, die unter sehr stumpfem Winkel zusammenstossen, wie eine einzige schwach gebogene Querwand aussehen, aber auch diess nur dann, wenn die ursprüngliche Lage der Wände bereits eine kleine Veränderung erfahren hat. An günstigen Präparaten, welche das Stadium unmittelbar nach der letzten Theilung repräsentiren, ist die schiefe Stellung der Wände nicht zu verkennen.

Ob schief gestellte Wände bloss nach zwei Richtungen des Raumes geneigt sind, was bei Zellkörpern ebenfalls vorkommt, oder ob sie nach Art der spiralig gestellten Blätter nach verschiedenen Richtungen von der Längsaxe divergiren, giebt sich zuweilen schon in der Seitenansicht kund, sofern nämlich die senkrechte oder schiefe Stellung einer Wand, die beim

Heben und Senken des Focus leicht zu unterscheiden sind. hierüber entscheidet. Zur Controle und um bei spiraliger Anordnung die Divergenzen zu ermitteln, darf man indess nie versäumen, die Scheitelzelle und deren Umgebung auch von oben zu betrachten.

Bei zweiseitig gestellten Scheidewänden ist übrigens wohl zu beachten, dass die Ansicht Fig. 267 nur einer ganz bestimmten Lage des Objects entspricht. Dreht man solche Objecte um ihre Längsaxe, bis das eine System der Scheidewände dem Auge zugekehrt, das andere abgekehrt ist, so erhält man oft Bilder, welche mit Fig. 266 eine grosse Aehnlichkeit haben. Es ist desswegen absolut nothwendig, die Scheitelregion von verschiedenen Seiten oder in verschiedenen Durchschnitsansichten zu beobachten.

Findet unmittelbar unter der Scheitelzelle oder in der Umgebung derselben ein beträchtliches Dickenwachsthum statt, wodurch das Gewebe undurchsichtig wird, so ist es nothwendig, eine mittlere Lamelle, welche nach oben in die Scheitelzelle endigt, herauszuschneiden, um zur Feststellung der Theilungsgesetze den Aufbau des Organs nach rückwärts verfolgen zu können. Die mittlern Zellreihen eignen sich hiezu immer am besten, weil die Theilungen und Formveränderungen hier weniger rasch als in der Nähe der Oberfläche erfolgen. Dass man bei blattartigen Organen parallel mit der Blattfläche zu schneiden hat, um das Flächenwachsthum, und senkrecht dazu, um das Dickenwachsthum zu ermitteln, versteht sich von selbst.

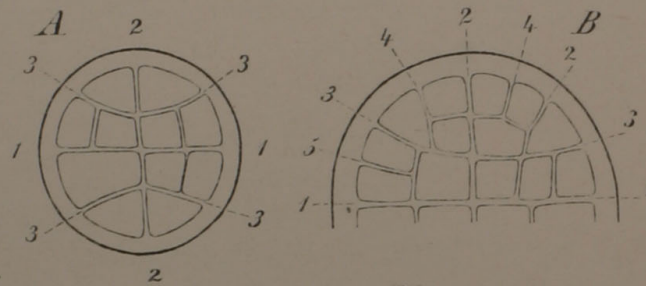
- 571 Die Entwicklungsfolge der Scheidewände in den von der Scheitelzelle abgeschnittenen Gliederzellen betreffend, so ist zum Voraus zu bemerken, dass dieselbe bis jetzt nur für die einfachern Fälle und zwar vorzugsweise für Organe mit rein peripherischem Wachsthum festgestellt ist. Die complicirtern Theilungsvorgänge, welche die Gewebebildung bei höhern Pflanzen vermitteln, lassen sich höchstens für einen Theil der Scheitelregion, dann aber nicht mehr, Zelle für Zelle verfolgen. Zur Veranschaulichung der dabei einzuschlagenden Untersuchungsverfahren mögen folgende Beispiele dienen.

*) Die Scheitelzelle theilt sich durch Querwände.

Hier ist zunächst zu untersuchen, ob die von der Scheitelzelle abgeschnittenen Gliederzellen sich vorerst ein oder mehrere Male durch Querwände theilen oder ob das Dickenwachsthum ohne diese vorläufige Quertheilung beginnt. Man verfährt hiebei in gleicher Weise, wie bei einfachen Zellreihen.

Die Hauptaufgabe besteht sodann darin, die Richtung und Aufeinanderfolge der Längswände in den Gliederzellen zu ermitteln. Hierzu sind natürlich Querschnittsansichten der verschiedenen Entwicklungsstadien erforderlich. In Fig. 267 sind solche Ansichten von *Schizomeris Leib-*

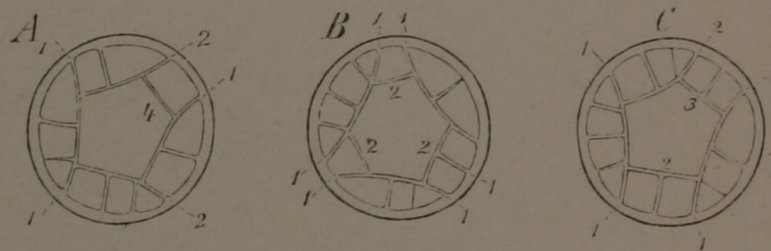
leinit Kg. dargestellt; *A* ist ein noch junges, *B* ein etwas vorgerückteres Stadium. Die Anordnung der Scheidewände ergibt sogleich die durch die beigelegten Ziffern angedeutete Entwicklungsfolge (nur für 1 und 2 ist



Figur 268. (300)

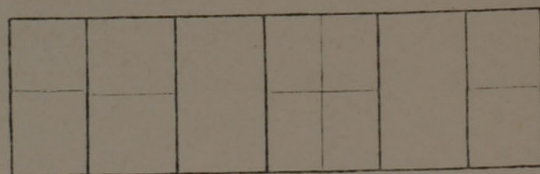
die Reihenfolge in der Figur unbestimmt). Geht die Theilung noch weiter, so lassen sich auch die spätern Wände, welche in den Randzellen auftreten, ohne Schwierigkeit deuten und construiren.

Dasselbe gilt für *Sphacelaria* und für die quirlständigen Aeste von *Cladostephus* (Fig. 269 *A, B, C*, drei verschiedene Theilungsarten); nur kommen hier noch Quertheilungen der peripherischen Zellen hinzu, welche natürlich nur auf Längsansichten oder Längsschnitten verfolgt werden können. Um das Verhältniss der beiden Theilungsvorgänge, nämlich der



Figur 269. (350)

Quer- und Längstheilungen, zu einander festzustellen, d. h. um die Scheidewände im Raume construiren zu können, ist es unerlässlich, einzelne Glieder langsam zu drehen und während der Drehung das oberflächliche Zellnetz Stück für Stück zu skizziren. Gelingt es, dasselbe Stück auch im Querschnitt zu beobachten, so ist damit ein sicherer Anhaltspunct zur Controlirung gegeben; gelingt diess nicht, so muss das Theilungsgesetz aus der Zahl der Längs- und Querwände im Zellennetz ermittelt werden. Kommen z. B. 3—4 Querwände auf 5—7 Längswände (Fig. 270), und hat sich die letztere Zahl als die gewöhnliche der peripherischen Zellen erwiesen, so ist sicher, dass sich diese zuerst durch Querwände und dann erst durch Längswände theilen.

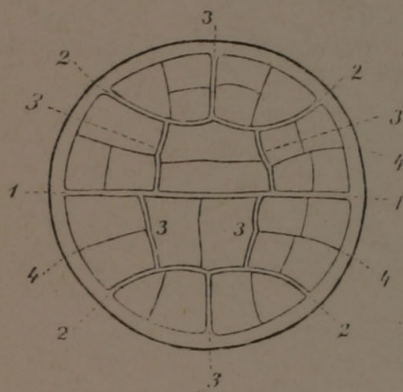


Figur 270.

Das Drehen dünner cylindrischer Stücke unter dem Mikroskop geschieht, wie bei kugeligen Zellgruppen, dadurch, dass man durch schwaches Drücken mit der Nadel langsame Strömungen hervorruft, welche eine ebenso langsame Drehung bewirken. Dickere Stücke, welche mit ihrer obern Fläche das Deckgläschen berühren, lassen sich auch wohl durch Verschieben desselben wie eine Walze rollen.

Ein weiter gehendes Dickenwachsthum, wobei die Randzellen längere Zeit theilungsfähig bleiben und die Innenzellen sich ebenfalls wiederholt theilen, bietet indessen auch dem geübten Mikroskopiker sehr bald unüberwindliche Schwierigkeiten; er muss sich für die spätern Stadien darauf beschränken, die allgemeineren Theilungsgesetze festzustellen, wie diess ja auch bei den Geweben höherer Pflanzen durchgehends der Fall ist.

Ein schwieriges Object dieser Art sind schon die Stammenden von *Cladostephus*. Die ersten Theilungen erfolgen, wie die Querschnitte durch günstige Thallusenden ergeben, nach dem in Fig. 271 dargestellten Typus (die Ziffern bezeichnen die Reihenfolge der Scheidewände); dann aber werden die Verhältnisse rasch so complicirt, dass es schwierig wird, den Aufbau Zelle für Zelle weiter zu verfolgen. Dazu kommt noch, dass



Figur 271.

die dünnen Wandungen der Zellen, schon weil sie das Eintrocknenlassen in Gummi nicht gestatten, die Anfertigung guter Querschnitte erschweren, was jedenfalls mit zur Ermüdung des Beobachters beiträgt. Die allgemeineren Wachstumsverhältnisse: ein vorherrschend peripherisches Wachsthum, die Bildung radialer Reihen, die sich im Querschnitt dichotomisch verzweigen, das scheinbare Hineinwachsen der Aeste ins Gewebe etc. lassen sich dagegen ohne

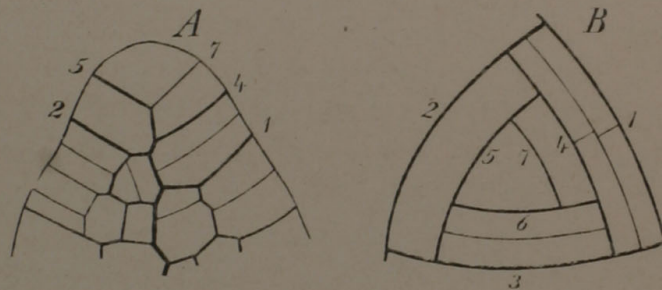
Schwierigkeit auf Durchschnitten durch den ältern Stamm ermitteln. Wir werden weiter unten hierauf zurückkommen.

- 572** Sind die ersten Theilungen in den einzelnen Gliedern bekannt, so ist auch die weitere Frage von Interesse, ob die erste Längswand einer beliebigen Gliederzelle zu derjenigen des vorhergehenden oder nachfolgenden Gliedes in einem bestimmten Stellungsverhältnisse stehe, ob überhaupt eine gewisse Abhängigkeit der Theilungsvorgänge von einander sich nachweisen lasse. Die Untersuchung dieser Frage geschieht am sichersten auf Querschnitten, bei welchen die beiden Schnittflächen durch zwei successive Glieder gehen. Die höhere Einstellung zeigt alsdann die Scheidewände des obern, die tiefere diejenige des untern Gliedes. Zur Sicherheit kann man es auch versuchen, die Stücke umzukehren und nach einander von oben und unten zu betrachten. Auf diese Weise findet man z. B., dass die ersten Scheidewände bei *Polysiphonia*, ähnlich wie die Blätter bei höhern

Pflanzen, spiralig gestellt sind und dass bei 4 Aussenzellen jede folgende um ungefähr $\frac{1}{4}$ des Kreisumfanges von der vorhergehenden divergirt. Ebenso scheinen auch bei *Sphacelaria* und bei den Aesten von *Cladostephus* regelmässige Divergenzen vorzukommen.

**) Die Scheitelzelle theilt sich durch schiefe Wände.

Als Beispiel eines solchen Wachstums ist in Fig. 272 die Scheitel- 573 region des Equisetum-Stammes abgebildet; *A* ist ein in der Längsrichtung geführter Medianschnitt, *B* die schematisirte Ansicht von oben. Man erkennt hier die dreieckige Scheitelzelle auf den ersten Blick; überdiess zeigt die Querschnittsansicht *B*, dass die in derselben successiv auftretenden Scheidewände nach drei verschiedenen Richtungen, die nahezu um den dritten Theil des Umfanges von einander absteigen, orientirt sind. Die 4.



Figur 272.

Wand läuft also parallel der ersten, die 5. parallel der 2. u. s. f. Die Reihenfolge der Wände von unten nach oben ist in *B* durch die entsprechenden Ziffern bezeichnet. In *A* sind natürlich nur die Wände 1, 4 und 7 und die damit parallelen auf der einen Seite, sowie 2 und 5 auf der andern Seite sichtbar; das dritte System (nämlich 3, 6 und die damit parallelen Wände) geht dem Gesichtsfelde parallel oder steht doch zu schief, um noch gesehen zu werden.

Aus den beiden Ansichten *A* und *B* ist ferner zu entnehmen, wie die von der Scheitelzelle abgeschnittenen Zellen sich weiter theilen. Die zuerst auftretenden Wände (zwischen 1 und 4 in *A* und *B*, ferner zwischen 3 und 6 in *B*) verlaufen den ursprünglichen parallel; dann folgen radial gestellte Wände (zwischen 4 und 4 in *B*), welche die Segmente in zwei gleichwerthige Hälften theilen. Die spätern Theilungen sind schon schwieriger zu ermitteln; Alles, was bis jetzt darüber festgestellt ist, bezieht sich auf einige wenige der ursprünglichen Segmente.

e) Zellkörper ohne erkennbare Scheitelzelle.

Bei den Phanerogamen und einigen Gefässcryptogamen ist es bis da- 574 hin nicht gelungen, in der Scheitelregion fortwachsender Sprosse das Vor-

handensein einer Scheitelzelle, von der alle übrigen sich ableiten liessen, mit Evidenz festzustellen. Wir sind unter diesen Umständen darauf angewiesen, die Möglichkeiten zu erwägen, welche in Bezug auf die Vorgänge in der Scheitelregion überhaupt denkbar sind. Solcher Möglichkeiten giebt es drei, nämlich:

1) Eine Scheitelzelle ist trotzdem vorhanden; allein sie ist nicht unterscheidbar, weil sie in Form und Grösse mit den übrigen Zellen übereinstimmt und weil die rasche Zunahme der Segmente das Erkennen ihrer Abgrenzung unmöglich macht.

2) Der Stammscheitel besteht aus einer Gruppe von Scheitelzellen, deren Abkömmlinge zunächst der Axe immer wieder Scheitelzellen sind, während die mehr peripherischen allmählig eine andere Natur annehmen, und zuletzt an die Aussenfläche des fortwachsenden Sprosses zu liegen kommen.

3) Als Scheitel erscheint jeweilen, ohne Rücksicht auf die Abstammung der Zellen, diejenige Region am Sprossende, welche einen vermehrten Zufluss von Nährstoffen erhält und in Folge dessen stärker wächst als alle übrigen. Der Scheitel kann nach dieser Annahme bald etwas nach rechts, bald wieder nach links rücken, je nachdem der Säftestrom nach dieser oder jener Seite hin von der Axenrichtung abweicht. — Man könnte diese Art der Auffassung im Gegensatz zu den beiden vorhergehenden als die mechanisch-physiologische bezeichnen.

Von diesen drei Wachstumsweisen haben die zwei erstgenannten die Analogie mit den übrigen Pflanzen für sich, während die dritte vollständig isolirt dastände und desshalb unwahrscheinlich ist.

575 Eine besondere Ansicht über die Wachsthumsvorgänge in der Scheitelregion hat Hanstein aufgestellt.⁹ Hiernach wäre ein einheitlicher Vegetationspunct bei den Phanerogamen gar nicht vorhanden; das Urmeristem eines beliebigen Sprosses wäre von Anfang an aus drei verschiedenen Gewebesystemen mit durchaus selbständigem Wachstum zusammengesetzt. Das innere System, von Hanstein Plerom genannt, bildet nach dieser Auffassung gleichsam den Kern, die beiden äussern, als Periblem und Dermatogen bezeichneten, die Hülle. Die Mutterzellen dieser Gewebe sind schon in der jugendlichen Embryoanlage differenzirt; ihre Nachkommen stehen, abgesehen vom gemeinsamen Ursprung aus der Scheitelzelle des Vorkeims, in keiner genetischen Beziehung zu einander.

Zu Gunsten dieser Ansicht können folgende Thatsachen angeführt werden: a) das mikroskopische Bild der Scheitelregion, welches eine continuirliche Fortsetzung der Epidermis und einiger darunter befindlichen Zellschichten zeigt; b) das Fehlen einer Scheitelzelle bei der Embryobildung.

Betreffend die Hanstein'sche Deutung dieser Thatsachen lassen sich indess mancherlei Einwände erheben. Einmal kann der Mangel einer Scheitelzelle ein bloss scheinbarer sein, was immer der Fall sein wird,

wenn die vorhin unter 4) bezeichneten Bedingungen erfüllt sind. Denn wie oben gezeigt wurde, ist unter solchen Verhältnissen das Erkennen der Scheitelzelle schon bei Zellflächen sehr erschwert; es muss folglich bei cylindrischen Zellkörpern geradezu unmöglich werden. Bei stumpfem Scheitel kann alsdann ein Bild, wie wir es auf Längsschnitten durch die Stammspitzen häufig beobachten, sehr wohl zu Stande kommen. — In zweiter Linie ist eine strenge Scheidung der fraglichen Gewebe, speziell von Plerom und Periblem, in Wirklichkeit nicht durchführbar; selbst die Anhänger der Hanstein'schen Lehre stellen die Möglichkeit einer scharfen Abgrenzung bei manchen der untersuchten Pflanzen in Abrede. Bezüglich dieser Frage mag hier zugleich ein Wort über die Methode Platz finden, welche der Beobachter zu befolgen hat. Dieselbe lässt sich am leichtesten mit Rücksicht auf die Beziehung zwischen Dermatogen und Periblem darlegen. Wenn nämlich diese Gewebe selbständige Bildungen sind, so können ihre aneinander grenzenden Schichten auf Durchschnitten bloss tangential-, nicht radial-verlaufende Reihen bilden. Bei einzelnen Organen, z. B. den Cotyledonen von *Hieracium*, treffen nun aber in jungen Zuständen nicht die tangentialen, sondern die radialen Wände aufeinander, und zwar in der Art, dass Zellen des angeblichen Dermatogens und Periblems zusammen Gruppen bilden, welche offenbar aus einer Mutterzelle hervorgegangen sind. — Was drittens das Verhalten des Embryos betrifft, so ist zwar die Darstellung Hanstein's in der Hauptsache richtig; allein die Vorgänge am Embryo sind für das spätere Verhalten des Stengels in Bezug auf Scheitelwachsthum nicht maassgebend. Finden wir doch bei *Ceratopteris thalictroides*, deren Stamm eine deutliche Scheitelzelle besitzt, die Embryoentwicklung ganz in Uebereinstimmung mit derjenigen der Monocotylen; der Stammscheitel wird hier erst nachträglich am Grunde des ersten Blattes ausgesondert. *)

Wir möchten viertens noch auf die phylogenetischen Beziehungen hinweisen. Die Phanerogamen sind zweifellos aus Gefässcryptogamen entstanden, und zwar selbstverständlich durch allmähliche Abweichungen, wie wir sie auch bei Individuen der nämlichen Spezies beobachten, deren Betrag jedoch mit der Reihe der Generationen grösser wird. Demzufolge mussten auch die Veränderungen am Scheitel, soweit solche thatsächlich stattgefunden haben, durch die individuelle Veränderlichkeit hindurchgehen. Nun ist aber ein Uebergang von einem einheitlichen Scheitel zu gesonderten Meristemen nicht wohl annehmbar; jeder Versuch, denselben in Gedanken herzustellen, stösst auf erhebliche, wo nicht unübersteigliche Schwierigkeiten. — Andererseits gehören die Vorgänge in der Scheitelzelle, soweit sie verfolgt werden können, zu den constantesten Erscheinungen im Pflanzenreich. Eine so bedeutende Veränderung in der Natur der Scheitel-

*) Kny, in Sitzungsber. d. Ges. naturf. Freunde zu Berlin (24. April 1874).

zelle, wie sie die Hanstein'sche Lehre fordert, müsste sich folglich, wenn sie überhaupt stattgefunden hätte, durch verschiedenartige Zwischenstufen und Schwankungen verrathen.

III.

Allgemeinere Wachsthumsgesetze.

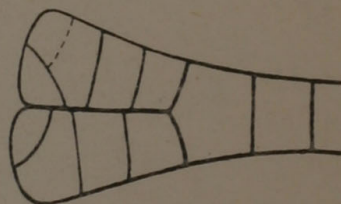
1. Wachsthumsvorgänge: Zellenbildung und Zellenausdehnung.

576 Wenden wir uns jetzt zur Untersuchung derjenigen Organe, deren Wachsthum sich nur noch im Allgemeinen, aber nicht mehr Zelle für Zelle verfolgen lässt, was bekanntlich sowohl bei Stämmen und Wurzeln, als auch bei Blättern höherer Pflanzen der Fall ist. Schon bei den Gefässkryptogamen finden wir in der Scheitelregion ein kleinzelliges Parenchym, und wenn auch eine Scheitelzelle bei den meisten nachgewiesen und die Theilungsweise derselben festgestellt ist, so zeigt doch das Gewebe unterhalb der Scheitelzelle durchgehends denselben Charakter, wie bei den Phanerogamen. Wir wissen nur, dass seine Zellen sich eine Zeit lang nach allen Richtungen des Raumes theilen, und weiter nichts. An die Stelle von einzelnen Zellen treten also hier gewissermaassen Zellcomplexe; der Gegensatz zwischen Randzellen und Flächenzellen etc. geht über in denjenigen verschiedener Gewebe (Cambium, Mark, Rinde etc.), deren Elementarorgane mit Rücksicht auf Theilbarkeit oder Ausdehnungsfähigkeit nach dieser oder jener Richtung übereinstimmen.

Dem entsprechend modificirt sich auch die Aufgabe des Beobachters. Er hat es hier nicht mehr mit der Entwicklungsfolge bestimmter Scheidewände, sondern mit den Wachsthumprocessen und Theilungsvorgängen in grössern Partien zu thun. Wie entstehen in einem ursprünglich homogenen Parenchym Gewebe von ganz anderer Beschaffenheit? Wie verhalten sich nach stattgefundener Differenzirung die verschiedenen Theile; welche fahren fort zu wachsen und welche nicht? Geschieht das Wachsthum bloss durch Zellenausdehnung oder durch Theilung, und, wenn das letztere der Fall, in welcher Richtung treten vorzugsweise die neuen Scheidewände auf? Wo erlischt die Entwicklungsfähigkeit eines Gewebes — sowohl im Querschnitt als im Längsverlaufe beobachtet — zuerst, und nach welchen Gesetzen schreitet der Uebergang in Dauergewebe fort? Das sind die Fragen, die sich der Beobachter bei Ermittlung des Wachstums der höhern Pflanzen zu stellen hat. Ehe wir jedoch näher darauf eingehen und mit spezieller Berücksichtigung der Gefässpflanzen den Gang der Untersuchung präcisiren, wollen wir, um den

oben abgebrochenen Faden wieder aufzunehmen, zunächst untersuchen, inwieweit die allgemeinern Wachsthumsgesetze für den ältern Stamm von *Cladostephus* sich feststellen lassen.

Der Querschnitt durch ein nicht allzu junges Internodium zeigt hier deutlich eine mittlere Gruppe von Zellen, welche durch Form und Anordnung sich von den umgebenden unterscheiden und also eine Art Mark bilden. Man sieht auch deutlich, dass einzelne Zellen sich nachträglich noch getheilt haben, das Wachsthum also jedenfalls kein rein peripherisches ist. Diese mittlere Gruppe ist von einer rindenartigen Hülle umgeben, deren Zellen sich in deutliche radiale Reihen ordnen und gegen die Peripherie zu etwas kleiner werden. Die Verzweigung der Reihen bei zunehmender Dicke des Stammes geschieht durch Theilung der Randzellen in der in Fig. 273 angedeuteten Weise, seltener durch eine radiale Wand. Ein weiteres intercalares Wachsthum dieser Reihen findet nur ausnahmsweise statt; in der Regel ist sogar die Zellenausdehnung sehr unbedeutend. Die Längsschnitte ergeben ferner, dass die mittlern Zellen langgestreckt, die peripherischen dagegen kurz sind. Am längsten sind immer die zwei oder drei centralen; es kommen hievon in den ältern Stadien, wie in den jüngsten, nur zwei auf ein Internodium. Im Centrum haben also offenbar keine Quertheilungen mehr stattgefunden, während dieselben weiter aussen im Marke wiederholt eintreten mussten, da hier 4—8 Zellen auf ein Internodium gehen. Die

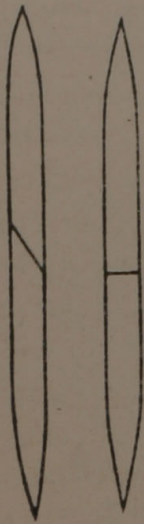


Figur 273.

Rinde endlich zeigt noch kürzere und unregelmässig gruppierte Zellen, welche offenbar auch durch intercalare Scheidewände sich vermehren und überdiess nicht unerhebliche Formveränderungen und Verschiebungen erfahren. Es ist daher nur an günstigen Schnitten möglich, einige etwas deutlicher hervortretende Zickzacklinien als frühere Scheidewände zu erkennen und hienach auf die ersten Theilungen der peripherischen Zellen zurückzuschliessen. Diese scheinen, was den Verlauf der Wände auf solchen Längsansichten betrifft, in ähnlicher Weise zu erfolgen, wie oben bei *Delesseria Hypoglossum* (p. 564). Das Dickenwachsthum ist jedenfalls, trotz der intercalaren Theilungen, ein vorwiegend peripherisches. Dass die quirlständigen Aeste scheinbar in den Stamm hineinwachsen, erklärt sich in gleicher Weise, wie bei unsern dicotylen Bäumen.

Wie in dem angeführten Beispiel die grössere Länge der centralen 577 Zellen sich daraus erklärt, dass dieselben sich während der Streckung der Internodien bloss verlängern, ohne sich durch Querwände zu theilen, so lässt sich nun auch die Entstehung der langgestreckten Cambiumzellen im ursprünglichen Bildungsgewebe der Gefässpflanzen (Meristem) oder überhaupt in einem kurzzelligen Gewebe denken. Es ist einleuchtend, dass wenn gewisse Zellen sich bloss durch Längswände theilen, während die

umgebenden sich nach allen Richtungen des Raumes zu theilen fortfahren, die Tochterzellen der erstern sehr bald die drei- bis vierfache Länge der letztern erreichen müssen. Diess ist jedoch keineswegs der einzig mögliche



Figur 274.

Process, worauf die Bildung des Cambiums nothwendig beruhen müsste. Die Verlängerung kann auch, wie diess wirklich beobachtet wurde, dadurch herbeigeführt werden, dass gewisse Zellen ein vorwiegendes selbständiges Längenwachsthum besitzen und, indem sie ihre Enden bei einander vorbeischieben, ein prosenchymatisches Gewebe bilden. Es kommt sogar vor, dass Querwände, welche in prosenchymatischen Zellen auftreten, nach und nach eine immer schiefere Lage annehmen und endlich als Längswände erscheinen (Fig. 274), so z. B. im Splint. Der Beobachter hat demnach zu entscheiden, welcher der beiden Vorgänge in einem gegebenen Falle statthabe.

Zur Zeit ist nur die Ausscheidung der Cambiumbündel im Meristem der Stammspitze, sowie der Wurzeln und Blätter, unzweifelhaft festgestellt; man weiss, dass die verlängerten Cambiumzellen durch vorwiegende oder ausschliessliche Längstheilung der parenchymatischen Bildungszellen entstehen, und dass diese Längstheilung einige Zeit fort dauert. Was dagegen die Zellvermehrung im ausgeprägten Cambium älterer Organe betrifft, so ist auch hier die Längstheilung wahrscheinlich; doch gehört der thatsächliche Nachweis derselben zu den schwierigeren Aufgaben der Entwicklungsgeschichte.

578 Nach der Ausscheidung der Cambiumbündel müssen die Wachstumsvorgänge innerhalb derselben von denjenigen des umgebenden Parenchyms geschieden werden. Wenn auch der Antheil am Dickenwachsthum, welcher auf das Parenchym fällt, in all den Fällen, wo es sich um perennirende Organe handelt, die zeitlebens an Umfang zunehmen, relativ gering oder selbst verschwindend klein ist, so erscheint er dagegen bei manchen einjährigen Gebilden, namentlich bei fleischigen Axen- und Blattorganen um so bedeutender. Der Beobachter muss sich jedenfalls immer die Frage vorlegen, bis zu welcher Entfernung von der Scheitelregion Theilungen im Parenchym, die als Dickenwachsthum zu deuten sind, vorkommen, und bis zu welcher andern noch Ausdehnung der Zellen in demselben Sinne stattfindet. Die letztere ergibt sich, wie leicht einzusehen, aus der Vergleichung der mittlern Zellendurchmesser, die erstere aus der Zahl der Zellen zwischen gegebenen Punkten.

Wenn z. B. das Mark einer dicotylen Pflanze unmittelbar nach dem Auftreten der Cambiumbündel 10 Zellen im Durchmesser zählt und diese Zahl in den folgenden Internodien auf 12, 15 und 18 steigt; wenn dagegen das ältere Mark durchschnittlich aus 20 Zellen im Durchmesser besteht,

so bleibt die Theilungsfähigkeit offenbar bis zu der Stelle erhalten, wo diese Durchschnittsziffer erreicht ist. Nimmt von da an der Durchmesser des Markes noch zu, so kann diess nur durch Ausdehnung der Zellen geschehen, die man übrigens auch durch Einzelmessungen leicht nachweisen kann.

Erscheinen die peripherischen Zellen des ältern Markes bei übrigen gleicher Form kleiner als die mittlern, so ist diess ein Beweis, dass die letztern früher aufgehört haben sich zu theilen. Dasselbe Raisonement gilt natürlich auch für die Rinde und mutatis mutandis auch für die Parenchymwände zwischen den Gefässbündeln der Monocotylen, desgleichen für das Markstrahlenparenchym zwischen den Bastgruppen der Dicotylen etc. Es handelt sich immer darum, Zellenausdehnung und Zellentheilung auseinander zu halten und jede der beiden Erscheinungen sowohl mit Rücksicht auf ihre relative Dauer, als auf die Art ihres Erlöschens zu verfolgen.

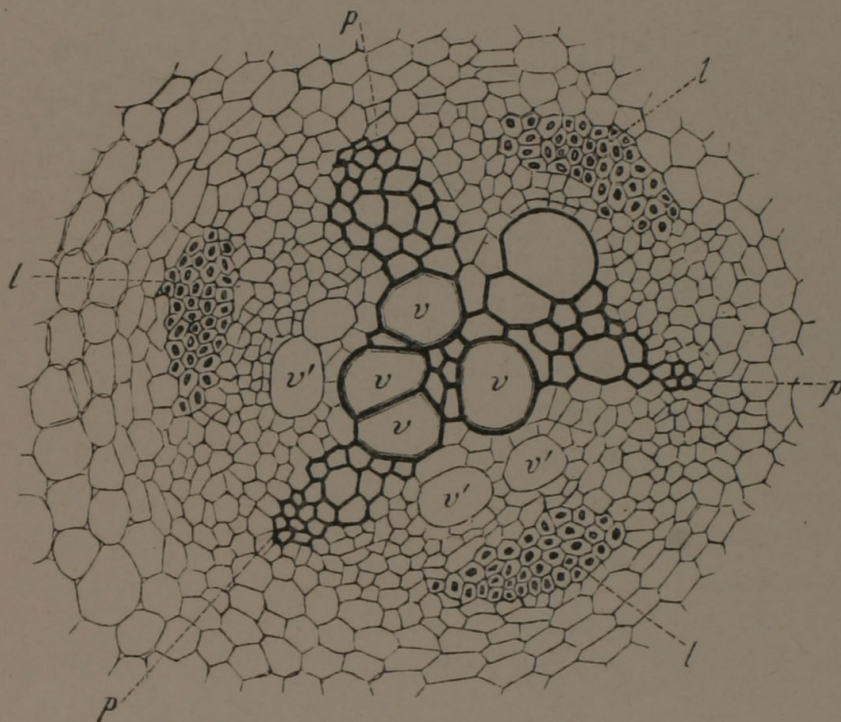
Die Wachstums- und Differenzirungsprocesse im Cambium selbst erfordern ein besonderes Studium. Hier ist zu ermitteln, wo die ersten Differenzirungsproducte: Spiralgefässe, Bastzellen etc. auftreten und in welcher Richtung der Uebergang in Dauergewebe fortschreitet, sowie ferner, wie das letztere in seinen ältern und jüngern Theilen beschaffen sei und ob es in Folge späterer Wachstumserscheinungen noch Veränderungen erleide. Die beiden erstern Punkte können auf successiven Querschnitten, die man durch die Scheitelregion des zu untersuchenden Organs führt, untersucht werden; die beiden letztern erfordern überdiess die Vergleichung der Längsschnitte.

Die Richtung, in welcher der Uebergang in Dauergewebe innerhalb einer Cambiummasse fortschreitet, oder die innere Orientirung, wie wir sie nennen können, ist von besonderer Wichtigkeit, einmal weil sie ein systematisches Merkmal von ausserordentlicher Constanz darstellt, und ferner, weil dieselbe uns über den Aufbau durch Zellenbildung selbst Aufschluss giebt, indem wir annehmen dürfen, dass in den Zellen, die sich zuerst als Dauerzellen kennzeichnen, auch die Theilung zuerst beendet war. Das eigentliche Cambium oder prosenchymatische Bildungsgewebe nun zeichnet sich dadurch aus, dass es auf entgegengesetzten oder wenigstens räumlich verschiedenen Seiten ungleiche Producte bildet, die als Xylem und Phloem unterschieden werden. Wenn das Stereom (das mechanische System), z. B. der Bastring im Stengel mancher Monocotylen, ebenfalls aus prosenchymatischem Bildungsgewebe entsteht, so ist diess ein wesentlich anders geartetes Cambium.

Das Cambium besteht anfänglich aus Zellen, die auf dem Querschnitt ungeordnet sind (primordiales Cambium, Procambium); erst nachher ordnen sich dieselben in parallele Reihen (Reihencambium). Wenn es in dieses letztere Stadium eingetreten ist, so befinden sich Xylem und Phloem an den zwei gegenüberliegenden Enden der Reihen; dieses Stadium wird in-

dess nur bei den Dicotylen und Gymnospermen erreicht. In den primordialen Cambiumsträngen (Gefässcryptogamen, Monocotylen und junger Zustand der übrigen Phanerogamen) ist die Orientirung eine mannigfaltige; sie wird bedingt durch die Natur der Pflanze und des Organs, dann durch die Gestalt und Lage der Cambiummassen selbst. Einige Beispiele mögen diess klar machen.

- 580 Der solide Cambiumcylinder kommt selten in den Caulomen, häufig in den Wurzeln vor. Im Stengel von manchen Selaginella-Arten und von Lycopodium beginnt die Xylembildung an zwei opponirten oder an mehrern Puncten und schreitet nach dem Mittelpunkt vor. Die Phloembildung beginnt alternirend auf ebenso vielen peripherischen Puncten und verläuft ebenfalls centripetal. — Die Wurzeln von vielen Gefässcryptogamen und Phanerogamen verhalten sich ähnlich, wobei aber die mit den primordialen Xylemsträngen alternirenden Phloemstränge auf deren Um-



Figur 273. (150)

fang beschränkt bleiben und die Xylembildung, wenn sie im Centrum angelangt ist, meistens umwendet und auf den Radien der Phloemstränge nach aussen geht. Dieses Verhalten ist in Fig. 273, welche einen Querschnitt durch die junge Pfahlwurzel von *Lathyrus purpureus* darstellt, veranschaulicht. Die Bildung der Xylemelemente hat hier in den drei Puncten *ppp*, wo die Spiralgefässe zu suchen sind, begonnen, ist bis zur Mitte des Cambiumcylinders fortgeschritten und geht bereits wieder nach aussen; die mit *v* bezeichneten grossen Gefässe sind schon vollständig ausgebildet. Ebenso haben auch die Bastzellen, welche die tangential neben

den Spiralgefässssträngen liegenden Bündel *///* bilden, ihre vollständige Ausbildung erreicht. Innerhalb dieser Bündel befindet sich noch cambiales Gewebe; *v'v'* sind junge Gefässe mit zarten Membranen. Bei den Wurzeln der Dicotylen, welche in die Dicke wachsen, schliessen sich die in diesem Stadium getrennten Cambiumpartieen zu einem Ring, welcher nach innen Xylem, nach aussen Phloem bildet. In den Wurzeln und Wurzelträgern von Selaginella beginnt die Xylembildung auf einem peripherischen Puncte des Cambiumcylinders; dieser Punct ist, wenn die Wurzel aus dem Stengel entspringt, basiscop; bei Gabelungen geht derselbe in zwei Puncte auseinander, welche an den Zweigen die einander zugekehrten Seiten einnehmen. Im Cambiumcylinder des Halorageenstammes beginnt die Xylembildung im Centrum und schreitet von da allseitig centrifugal fort.

Der Cambiummantel kommt als ursprünglich selbständige Bildung seltener vor; wir finden ihn bei einigen Monocotylenwurzeln und hin und wieder bei Dicotylenstengeln. In den erstern beginnt die Xylembildung auf zahlreichen peripherischen Puncten und schreitet centripetal bis an den innern Rand fort, wohl auch von hier auf den zwischenliegenden Radien wieder nach aussen. Die Phloemstränge befinden sich auf dem gleichen Kreis mit den primordiales Xylemsträngen und alterniren mit denselben. — In den gedachten Dicotylenstengeln beginnt die Xylembildung am innern, die Phloembildung am äussern Rande des Cambiummantels.

Am häufigsten treten die Cambiummassen ursprünglich als isolirte Stränge auf. In den Stengeln der Phanerogamen liegt das primordiale Xylem auf der innern, das primordiale Phloem auf der äussern Seite jedes Stengels; jenes bildet sich centrifugal, dieses centripetal aus. In den Monocotylenwurzeln wird die umgekehrte Lage beobachtet. Im dicotylen Stengel vereinigt sich das Cambium aller oder eines Theiles der Stränge meist früher oder später zu einem Cambiumring. — Eine eigenthümliche Modification zeigen zuweilen isolirte grössere, innerhalb des Holzringes liegende Stränge, indem das Xylem sich seitlich ausbreitet, hufeisenförmig und selbst ringförmig wird, so dass es das Phloem ganz umhüllt. In einem solchen Strange beginnt die Xylembildung auf dessen innerer Seite, breitet sich dann über den ganzen Umfang aus und schreitet nun allseitig gegen den Mittelpunkt des Stranges fort, indess die Phloembildung von diesem Mittelpunkt allseitig centrifugal verläuft. — Die Stränge in den Blättern sind meistens so orientirt, dass das Xylem der obern, das Phloem der untern Blattseite entspricht. In den Blattstielen, sowie in den dickern Blättern, kann die Orientirung mehr oder weniger auf die Axe des Organs oder auf die Medianebene zwischen Ober- und Unterseite bezogen sein. Beim Eintritt der Stränge aus dem Stengel in den Blattstiel und aus diesem in die Spreite finden entsprechende Drehungen in der Orientirung statt; das Nämliche beobachtet man da, wo die Stränge aus dem Stengel in die Pfahlwurzel übergehen. — In den Blättern der Equiseten beginnt die Xylem-

bildung in der Mitte des Stranges und geht von da nach rechts und links. In den grössern Cambiumsträngen von Stengeln und Blättern der Gefässcryptogamen, sowie der Wurzeln einiger Monocotylen, beginnt die Xylembildung einerseits, ebenso die Phloembildung andererseits nicht nur auf einem Punct, sondern auf mehrern Puncten (polyarche oder zusammengesetzte Stränge). Die Orientirung wird dann nicht bloss durch die räumlichen Beziehungen zum ganzen Organ, sondern vorzugsweise auch durch diejenigen zum Strang selbst bestimmt. So beginnt beispielsweise in den Cambiumsträngen des Farnstengels die Xylembildung gewöhnlich auf zwei Puncten rechts und links und geht von da gegen die Strangmitte, wo Vereinigung erfolgt, indess die Phloembildung an der innern und äussern Seite des Stranges anhebt. Ausser diesen diarchen grössern Gefässsträngen giebt es bei einigen Filices noch kleinere, bei denen die Xylembildung nur auf einem Puncte und zwar aussen beginnt und nach dem Centrum des Stengels fortschreitet.

581 Als besondere Eigenthümlichkeiten sind noch zu erwähnen das successive Auftreten neuer Cambiumringe ausserhalb der früher thätigen und mit gleicher Orientirung (bei Sapindaceen, *Phytolacca* etc.); ferner das bei manchen Dicotylen constatirte Vorkommen von kleinen Cambiumsträngen oder Ringen an der innern Seite der gewöhnlichen Stränge oder Ringe, dadurch ausgezeichnet, dass dieselben die umgekehrte Orientirung zeigen, indem sie nach innen Phloem in centrifugaler Folge, nach aussen Xylem in centripetaler Folge bilden. Diese Bildungen werden gewöhnlich als Phloemstränge oder Phloemringe der Markscheide bezeichnet. Das innere accessorische Cambium hat in der Regel nur kurze Dauer und bildet nur wenig Phloem und noch weniger Xylem, wobei das letztere sich dem umgekehrt orientirten System des Hauptstranges oder Ringes meist dicht anschliesst. Stärkere Neubildungen dieser Art finden sich bei *Tecoma radicans*, wo die beiden Xylemringe sich mit ihren ältesten Dauerzellen ebenfalls unmittelbar berühren.

582 Mit Rücksicht auf die Beschaffenheit des aus dem Cambium entstehenden Dauergewebes (Holz- und Bastkörper, Xylem und Phloem), so kann dasselbe, abgesehen von der Bildung der Holzgefässe und Siebröhren, in drei wesentlich verschiedenen Formen auftreten. Entweder behalten die Zellen den prosenchymatischen Habitus des Cambiums bei (Holz- und Bastzellen); oder es theilen sich die prosenchymatischen Zellen, nachdem die Verdickung ihrer Wandungen bereits begonnen hat, durch Querwände und verwandeln sich in gleichgestaltete Zellgruppen (Holz- und Bastparenchym); oder es entsteht aus dem Cambium durch frühzeitige Quertheilung ein wirkliches, dem Mark und der primären Rinde ähnliches Parenchym (Kartoffel, weisse Rübe etc.). — Das markähnliche Aussehen des letztern kann leicht zu voreiligen Deutungen Veranlassung geben, die zu einer wesentlich unrichtigen Auffassung der Dinge führen können.

Man beobachtet beispielsweise eine Wurzel, welche im Querschnitt einen Kreis von Gefässbündeln und Holzzellen zeigt, und innerhalb dieses Kreises ein markähnliches, dünnwandig-parenchymatisches Gewebe. Man schliesst daraus ohne Weiteres, dass sich das Cambium, ganz wie bei den Stämmen der Dicotylen, in Form eines Ringes ausgeschieden habe*), während doch die genauere Untersuchung herausstellt, dass man es wie gewöhnlich mit einem Cambiumcylinder zu thun hat, dessen centrale Zellen sich aber nicht in Holz und Gefässe, sondern in dünnwandiges Parenchym umwandeln.

Ausser diesen Verschiedenheiten, welche sich vorzugsweise auf die Formverhältnisse der Zellen beziehen, hat der Beobachter ferner die ungleichartige Verdickung der Membranen (Poren mit und ohne Höfe, netzartige Verdickung etc.), dann die Natur des Inhalts (Stärke, Luft etc.) und bei Gefässen das Verhalten der ursprünglichen Scheidewände zu berücksichtigen. Es giebt Gefässe, bei denen die Scheidewände siebartig durchlöchert erscheinen, andere, wo dieselben vollständig resorbirt sind; ferner Holzzellen mit behöften Poren nebst spiraliger Verdickung, andere mit kleinen Poren und verschiedenem Inhalt u. s. w.**)

Die Dauergewebe der Pflanzen scheiden sich mit Rücksicht auf ihre Function in zwei Systeme, welche beide oft schon bei der Ausscheidung des Cambiums vorgesehen sind: das ernährungs-physiologische und das mechanische System. Ersteres besorgt die Function der Saft- und Luftleitung, die Assimilation und die Speicherung der Reservennahrung, den Schutz gegen zu rasche Verdunstung etc.; letzteres giebt jedem Organ die erforderliche Festigkeit. Da die Zellformen, welche ernährungs-physiologischen Zwecken dienen, im Allgemeinen bekannt sind, so beschränken wir uns hier auf einige Bemerkungen über das mechanische System. Wie sich zum Voraus erwarten lässt, besitzen die Zellen desselben eine bedeutende Festigkeit, was sich meist schon durch die starke Verdickung der Wandungen kundgiebt; sie sind überdiess so mit einander verbunden, dass eine Trennung in der Richtung des wirksamen Zuges nicht leicht stattfinden kann. Je grösser die mechanischen Anforderungen, denen ein Gewebe zu genügen hat, desto ausgeprägter sind natürlich auch die bezüglichlichen Eigenschaften der einzelnen Zellen. In dieser Hinsicht können namentlich die gestreckt-prosenchymatischen Formen mit starker Wandverdickung (Collenchym-, Bast- und Holzzellen) als spezifisch mechanische Zellen oder Stereiden bezeichnet werden. Ihre Festigkeit (Tragvermögen) innerhalb der Elasticitätsgrenze erreicht in manchen Fällen diejenige des Schmiedeeisens. Als anatomische Eigenthümlichkeit derselben verdient erwähnt zu werden, dass die Streifung der Membran und die die-

*) Schacht, Anat. u. Phys. II. p. 143.

**) Vgl. Sanio: Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers. Bot. Ztg. 1863.

selbe andeutende Stellung der spaltenförmigen Poren fast immer einer steilen linksschiefen Schraubenlinie entspricht, welche zuweilen nur wenig von der Längsrichtung abweicht.

- 585 Die Lagerung der Stereiden, d. h. die Vertheilung derselben im Querschnitt, ist im Allgemeinen durch die Inanspruchnahme des betreffenden Organs vorgezeichnet. Biegungsfeste Organe, wie z. B. die Grashalme, die Blüthenschäfte etc., sind dementsprechend nach einem andern Plan gebaut als die zugfesten Wurzeln, oder als die schlingenden und die untergetauchten Blatt- und Stengelorgane. Ebenso verlangt auch die Widerstandsfähigkeit gegen radialen Druck und gegen scheerende Kräfte ihre besondere Berücksichtigung. Aber bei all diesen Verschiedenheiten der Inanspruchnahme richten sich die Formverhältnisse des mechanischen Systems streng nach den Grundsätzen der Mechanik, d. h. die Herstellung der erforderlichen Festigkeit geschieht mit möglichst geringem Materialaufwande. Daher kommt es, dass die mechanischen Systeme der Pflanzen mit den rationellen Constructionen der neuern Technik (welche nach dem nämlichen Princip verfährt) im Wesentlichen übereinstimmen. Zur Veranschaulichung dieser Verhältnisse mögen folgende Beispiele dienen. *)

a) Biegungsfeste Systeme. Die Biegungsfestigkeit verlangt eine möglichst periphere Anordnung der mechanischen Elemente. Bei cylindrischen Organen, welche der Biegung nach verschiedenen Richtungen senkrecht zur Axe unterworfen sind, ist also im Allgemeinen eine hohl-cylindrische Anordnung derselben geboten, wobei übrigens das ganze System nicht nothwendig eine continuirliche Röhre zu sein braucht, sondern eben so gut aus einzelnen unter sich verbundenen Pfosten bestehen kann. In allen Fällen aber muss die Construction eine genügende Wanddicke besitzen, um gegen Einknicken geschützt zu sein.

Von den verschiedenen Formen, welche diesen Anforderungen genügen, findet sich beispielsweise die glatte Röhre bei zahlreichen Mono- und Dicotylen, die gerippte Röhre bei den Gramineen und einzelnen Cyperaceen; ein System von einfachen peripherischen Pfosten bei den Aroiden, von complicirter gebauten Trägern bei vielen Cyperaceen, zwei ineinander geschobene Hohlcyliner, von denen der äussere aus Collenchym, der innere aus Bast oder Libriform besteht, bei manchen Dicotylen etc. — Bei den Blättern und Blattstielen, welche vorwiegend in der Richtung der Schwerkraft in Anspruch genommen werden, sind demgemäss auch die Stereiden bloss in Bezug auf oben und unten periphere gestellt.

b) Zugfeste Systeme. Für die Zugfestigkeit ist die Querschnittsform des mechanischen Systems gleichgültig, die Querschnittsgrösse somit allein maassgebend. Zwei Bastbündel tragen bei gleicher Stärke stets doppelt so viel als ein einziges, gleichviel ob sie im Centrum oder an der

*) Vgl. Schwendener, das mechanische Princip etc. Leipzig 1874.

Oberfläche eines Organs liegen. Um jedoch die Ungleichmässigkeit der Inanspruchnahme zu vermeiden, erscheint es im Allgemeinen zweckdienlicher, die zugfesten Elemente möglichst nahe zusammen zu rücken, was bei cylindrischen Organen zur axilen Stellung führt. Für die Pflanze mag eine solche Anordnung auch noch anderweitige Vortheile gewähren. Wie dem auch sei, es ist eine Thatsache, dass die Inanspruchnahme auf Zug in pflanzlichen Organen eine centripetale Tendenz der mechanischen Zellen bedingt.

Als Muster zugfester Einrichtungen kann die centrale Fibrovasalmasse der Wurzeln und der submersen Stammorgane (*Myriophyllum*, *Najas* etc.) bezeichnet werden. Aehnlich verhalten sich auch viele Rhizome, hängende Blütenstandsachsen u. dgl. Zugfest sind ferner die Schlingpflanzen: doch bedürfen dieselben anfänglich, so lange sie noch keine Stütze gefunden haben, der Biegungsfestigkeit und sind dementsprechend gebaut. Bei manchen untergetauchten Organen, welche den Zug des fliessenden Wassers auszuhalten haben, sind ausser dem centralen Strang noch kleine peripherische Stränge vorhanden, welche das luftführende Maschenwerk der Rinde gegen Abstreifen schützen.

c) Druckfeste Systeme. Eine der zweckmässigsten Constructiionsformen gegen longitudinalen, wie gegen radialen Druck ist die hohle Säule oder continuirliche Röhre. Dieselbe findet sich als aufrechte Strobe in den Stützwurzeln von *Pandanus*, als liegende Röhre in den Wurzeln und Rhizomen mancher wasserliebenden Pflanzen, wie z. B. von *Carex stricta*, wo sie offenbar den Zweck hat, die grossen luftführenden Kanäle zu schützen: ferner in verschiedener Stellung bei den Lycopodiaceen als Umhüllung des centralen Gefässbündels, beziehungsweise des angrenzenden Hohlraums, u. s. w. Die meisten biegungsfesten Constructionen cylindrischer Organe sind übrigens mehr oder weniger auch druckfest.

d) Schubfeste Systeme. Zu den Einrichtungen, welche vorzugsweise den scheerenden Kräften Widerstand leisten sollen, gehören z. B. die Querverbindungen zwischen den Längsrippen in den Blättern und Blattscheiden der Monocotylen. In den meisten Fällen bestehen diese Verbindungen aus stereidenlosen Fibrovasalsträngen (Mestomsträngen); doch kommen zuweilen auch spezifisch mechanische Zellen von grosser Widerstandsfähigkeit zur Anwendung, so z. B. bei *Maranta* und einzelnen Palmen.

Da die Pflanze nicht bloss mechanischen, sondern auch ernährungs- 586 physiologischen Ansprüchen zu genügen hat, so kommt es häufig vor, dass sie die Regeln der Festigkeitslehre bei der Vertheilung der Gewebe nicht ausschliesslich und einseitig zur Richtschnur nimmt. So muss z. B. die Biegungsfestigkeit, weil dieselbe eine möglichst peripherische Anordnung der Zellen erheischt, nothwendig mit den Bedingungen der Assimilation in Conflict kommen, weil diese letztere ebenso entschieden die oberflächliche Lage der chlorophyllführenden Zellen verlangt. Wenn nun das Bedürfniss

der Assimilation überwiegt, so müssen die mechanischen Zellen entweder den grössern Theil der Peripherie an die assimilirenden abtreten oder aber auf dem ganzen Umfange von der Oberfläche zurückweichen, was bei ringförmiger Querschnittsform des mechanischen Systems der gewöhnliche Fall ist. In gleicher Weise können auch physiologische Momente ganz anderer Art, wie z. B. das Bedürfniss der Durchlüftung bei theilweise untergetauchten Pflanzen, die Anordnung der Stereiden sehr erheblich beeinflussen.

Die spezifisch mechanischen Zellen sind übrigens nicht die einzigen, welche behufs Herstellung der erforderlichen Festigkeit Verwendung finden können. Wie es überhaupt ein häufiges Vorkommniss ist, dass die nämliche Zelle gleichzeitig oder nach einander verschiedene Functionen vollzieht, so finden wir da und dort parenchymatische Gewebe, welche offenbar in erster Linie der Assimilation oder als Behälter zur Speicherung der Reservahrung dienen, desgleichen Xylem- und Phloemelemente, denen zunächst die Saftleitung obliegt, zur Verstärkung des mechanischen Systems verwendet und demgemäss mit dickern Wandungen ausgerüstet. So ist z. B. der Hohlcylinder vieler Lilioideen auf der Innenseite durch dickwandige Markzellen, das biegungsfeste System der Gramineen durch widerstandsfähige Gefässbündel (Mestombündel) ausgesteift. Auch werden zuweilen aus Bastzellen zusammengesetzte Hohlcylinder, nachdem sie durch das nachträgliche Dickenwachsthum des Organs in isolirte Pfosten oder in anastomosirende Bänder auseinander gesprengt worden, durch Ausfüllung der entstandenen Lücken mit Hornparenchym verstärkt. Ebenso sind bei manchen Dicotylen die schon ursprünglich getrennten Bastbündel einjähriger Triebe durch dickwandiges Strahlenparenchym tangential verbunden.*)

2. Weitere Veränderungen im Gewebe.

587 Zu den spätern Veränderungen der Gewebe, welche Gegenstand einer besondern Untersuchung sein können, gehören zunächst die Bildung der Thyllen in Gefässen, die Umwandlung von Splint in Kernholz, die Entstehung der luftführenden Kanäle, der Harz- und Gummigänge u. s. w. Es bedarf wohl keiner besondern Erörterung, dass das Studium dieser Veränderungen, wie jeder andern Wachsthumerscheinung, erst dann als abgeschlossen zu betrachten ist, wenn man die verschiedenen Stadien der Ausbildung hinlänglich genau kennt, um sie mit vollkommener Sicherheit als Momente eines bestimmten, allmählig vor sich gehenden Entwicklungsprocesses zu deuten und jede andere Erklärung auszuschliessen.

Wir wollen mit Rücksicht hierauf beispielsweise die Entstehung von

*) Aus dem Vorstehenden darf aber nicht gefolgert werden, dass auch umgekehrt jede dickwandige Parenchymzelle mechanische Bedeutung habe. Bei den Steinzellen der Birne, ebenso bei manchen rinden- und markständigen Hornparenchymzellen ist diess offenbar nicht der Fall.

Lücken und Gängen im Gewebe etwas ausführlicher erörtern. Dieselbe kann nach den jetzt bekannten Thatsachen in dreifach-verschiedener Weise gedacht werden: durch Auseinanderweichen der Zellen, durch Desorganisation von Zellen und Zellcomplexen und durch Zerreißen der Gewebe.

Das Auseinanderweichen der Zellen ist mit der Ausscheidung von Flüssigkeit oder Luft zwischen denselben verbunden. Bei der Desorganisation nehmen die Zellmembranen eine zähflüssige, schleimige Beschaffenheit an und vermischen sich zuletzt vollständig mit dem Inhalte. Das Zerreißen ist Folge eines andauernden tangentialen Wachstums rings um eine Stelle, in welcher die Ausdehnung aufgehört hat.

Von diesen drei Entstehungsarten verräth sich die letztere meistens schon bei oberflächlicher Untersuchung durch die abgerissenen Membranen, welche in die Höhlung hineinragen; das Erkennen derselben unterliegt also keiner Schwierigkeit. Dagegen sind die beiden übrigen in manchen Fällen schwer von einander zu unterscheiden. So leicht es ist nachzuweisen, dass die Zwischenzellräume und die grössern luftführenden Räume in den Blättern, im Gewebe vieler Wasserpflanzen etc. durch Auseinanderweichen der Zellen entstehen, da hier die verschiedensten Entwicklungsstufen oft nebeneinander vorkommen oder doch auf successiven Schnitten zur Genüge vorhanden sind, so schwierig ist es, in diesem Punkte bei manchen Harz- und Gummigängen, welche die erforderlichen Entwicklungsstadien nur selten darbieten, vollständige Sicherheit zu erlangen.

Früher nahm man bekanntlich an, dass Gummi und Harz ursprünglich flüssige Secretionsproducte seien, welche in eigenen, durch Auseinanderweichen der Zellen gebildeten Gängen sich anhäufen. Genauere Beobachtungen stellten jedoch bald heraus, dass diese Annahme in einzelnen Fällen mit den thatsächlichen Verhältnissen im Widerspruch steht. Das Traganthgummi erwies sich sogar im käuflichen Zustande als ein rundzelliges Gewebe mit gallertartigen, deutlich geschichteten Wandungen und Stärke-führenden Lumina, und ein gleiches Verhalten beobachtete Wigand*) auch beim Bassorin (Gummi Bassora, Gummi Kutera). Eines weitern Beweises, dass diese beiden Gummiarten als umgewandelte Gewebe zu betrachten sind, bedarf es natürlich nicht.

Für das Kirschgummi und einige andere Gummiarten und Gummiharze gelangte Wigand zu demselben Ergebniss durch seine anatomischen und entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen an Gummi-führenden Geweben. Bald sind es die in der Gummimasse vorkommenden Einschlüsse (z. B. Stärkekörner), welche mit der Annahme einer Secretion im Widerspruch stehen, da nicht einzusehen wäre, wie dieselben in eine ausgeschiedene Substanz hineinkommen; bald deutet die Natur des Gewebes in der Umgebung des Gummiganges, insbesondere der nächstliegenden Mem-

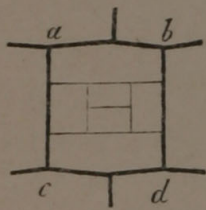
*) Pringsheim's Jahrb. für wiss. Bot. III. 4. 1861.

branen, auf eine stattgefundene oder noch stattfindende Desorganisation. Zuweilen geht auch schon aus der Anordnung der Zellen, welche solche Gänge umschliessen, z. B. aus dem geraden Verlaufe der Zellreihen u. dgl. ganz deutlich hervor, dass ein Auseinanderweichen derselben nicht stattgefunden hat, so dass also nur eine Verflüssigung oder Umwandlung von Zellwandungen oder von ganzen Zellcomplexen angenommen werden kann.

Welche Gummi- oder Harzgänge in der angegebenen Weise entstehen, bleibt natürlich in jedem gegebenen Fall näher zu untersuchen. Dass bei sehr vielen hieher gehörigen Bildungen ein Auseinanderweichen der Zellen erfolgt, ist keinem Zweifel unterworfen. Andererseits ist aber auch das Vorkommen secernirender (später sich lösender) Zellstränge ohne begleitenden Zwischenzellraum hin und wieder beobachtet worden.

588 Als Veränderungen eigener Art, welchen bestimmte Theilungsvorgänge vorausgehen, können ferner die Entstehung der Spaltöffnungen und die Periderm- und Borkenbildung erwähnt werden.

Die Spaltöffnungen bilden sich bekanntlich zwischen zwei eigenthümlich gestalteten Zellen der oberflächlichen Schicht, den sogenannten Spaltöffnungszellen oder Schliesszellen; es sind Lücken, welche gleich den Zwischenzellräumen im Gewebe durch Auseinanderweichen der Zellen entstehen. Die Schliesszellen sind jedoch nicht gleichwerthig mit den gewöhnlichen Epidermiszellen, sondern es sind Zellen einer



Figur 276.

jüngern Generation, wobei die Bildung der Spaltöffnung zuweilen durch einen regelmässigen Theilungsprocess eingeleitet wird. Eine jugendliche Epidermiszelle (*abcd*) theilt sich z. B. in der in Fig. 276 dargestellten Weise, und erst die innersten Tochterzellen entwickeln sich in der Folge zu Schliesszellen.

Die Art, wie diese Theilungen erfolgen, dann die Formveränderungen und Verschiebungen, welche später eintreten und wodurch die Spaltöffnungszellen zuweilen über die Epidermis emporgehoben, manchmal auch in das Gewebe vertieft werden, bieten natürlich mancherlei Verschiedenheiten, welche der Beobachter theils auf Flächenansichten, theils auf senkrecht zur Fläche geführten Durchschnitten zu ermitteln hat.

589 Bei der Peridermbildung, wo die Verschiedenartigkeit der Theilungsvorgänge noch weit grösser ist, sind zunächst die hierauf bezüglichen Fragen zu beantworten. Beginnt die Theilung in der Epidermis, wie bei manchen Cacteen, oder in der äussersten Schicht der primären Rinde, also unmittelbar unter der Epidermis, wie bei der Eiche, Buche, Birke etc., oder in einer tiefer liegenden Rindenschicht und in welcher? Wie schreitet die Theilung in den ursprünglichen Mutterzellen fort — von aussen nach innen, oder von innen nach aussen, oder vielleicht gleichmässig in allen Theilzellen? Wie gross ist die Theilungsfähigkeit der Mutterzelle,

d. h. wie viele Theilzellen bilden sich durchschnittlich in jeder derselben? Wiederholt sich die Peridermbildung, nachdem das Theilungsvermögen in der ersten Zellschicht erloschen ist, in der unmittelbar darauf folgenden (ausdauerndes Periderm), oder aber tiefer im Innern der Rinde, so dass im letztern Falle die aufeinander folgenden Peridermzonen durch mehrere Rindenzellschichten getrennt sind (Borkenbildung)? Stehen diese getrennten Peridermzonen, wenn man sie im ganzen Umfang des Organs beobachtet, unter sich durch Anastomosen in Verbindung (Schuppenborke), oder bilden sie vollständig getrennte concentrische Ringe (Ringelborke)?

In zweiter Linie ist die Umwandlung der Cellulosemembranen in Korksubstanz und das Verhalten des durch Peridermzonen abgeschnittenen Gewebes (Epidermis, Borke) zu beobachten. Die Verkorkung schreitet, soweit die Beobachtungen reichen, stets von aussen nach innen fort; da indess Abweichungen von dieser Regel nicht unmöglich sind, so verdient die Sache immerhin eine genauere Prüfung. Es kann auch der Fall eintreten, dass die stärker verdickten Stellen der Zellwandung nur unvollständig oder auch gar nicht verkorken oder dass jede einzelne Korkzelle mit einer Celluloseschicht ausgekleidet ist. Zu diesen Ungleichheiten kommt dann noch die verschiedene Beschaffenheit der Membran in Bezug auf Dicke und Färbung, welche letztere zwischen Hell- und Dunkelbraun mannigfach variirt. Ueberdiess können in der absterbenden Borke Veränderungen stattfinden, welche eine genauere Untersuchung verdienen. .

Wo aus dem Korkmeristem nebenbei auch Rindenzellen hervorgehen, welche nicht verkorken, sogenannte Korkrindenzellen nach Sanio, verdienen dieselben sowohl bezüglich der Theilungsvorgänge, denen sie ihre Entstehung verdanken, als auch mit Rücksicht auf ihre Lage besondere Beachtung. In den von Sanio beobachteten Fällen schliessen sich diese Zellen unmittelbar an die grüne Rinde an; es kann aber auch vorkommen, dass Lagen von Korkrindenzellen mit Peridermzonen regelmässig alterniren.*)

Solche Vorkommnisse, zusammengehalten mit den längst bekannten Erscheinungen der Periderm- und Borkenbildung, sowie mit der Verkorkung von Rindenzellen ohne vorhergegangene Theilung, legen die Frage nahe, in welcher Weise die Korkbildung überhaupt aufzufassen, d. h. wie die sämmtlichen hieher gehörigen Erscheinungen durch einen gemeinsamen, für alle adaequaten Ausdruck zu deuten seien. Wir glauben diese Frage in folgender Weise beantworten zu können. Die Pflanze hat das Bestreben, die Oberfläche der Organe durch Verkorkung der Membranen zu schützen. Dieser Verkorkungsprocess schreitet von aussen nach innen fort; er kann auch sprungweise von peripherischen Zellen auf tiefer liegende

*) Diese Angabe nach den noch nicht veröffentlichten Untersuchungen von Dr. B. Plüss in Basel.

übergehen. Eine vorausgehende Meristemabildung ist nicht absolut notwendig; doch sind im Allgemeinen junge Zellen fähiger zu verkorken als alte. Darum bildet die Pflanze gewöhnlich ein besonderes Meristem, um dasselbe nachher zur Korkbildung zu verwenden, wobei indess einzelne Zellschichten im unverkorkten Zustande verharren können.

IV.

Bildung seitlicher Organe.

590 Die Verzweigung von Zellreihen als Wachstums- und Theilungsvorgang wurde schon im Vorhergehenden mehrfach erwähnt, da es uns zweckmässig erschien, gewisse Zellcomplexe auf Systeme von Zellfäden zurückzuführen, die sich nach bestimmten Gesetzen verästeln. Wir hielten es jedoch nicht für gerathen, auf die verschiedenen Arten der Verästlung schon bei der Gewebebildung genauer einzugehen, da wir damit doch nur einen speziellen Fall aus einer Reihe analoger Erscheinungen herausgegriffen hätten. Als analog müssen nämlich alle Wachsthumsvorgänge betrachtet werden, durch welche an beliebigen Organen seitliche von gleicher oder ungleicher Art erzeugt werden; denn wie die bisher betrachteten Processe die Massenentwicklung der verschiedenen Glieder des Pflanzenstockes bedingen, wie sie jedes Organ, einmal angelegt, in die Länge und Dicke weiter bauen, so bedingt die Bildung neuer Organe jene mannigfaltigen Combinationen von Haupt- und Nebenbauten, wie sie uns bei den meisten Pflanzen entgegen treten, oder wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt: sie bedingt die Architectonik des Pflanzenstockes.

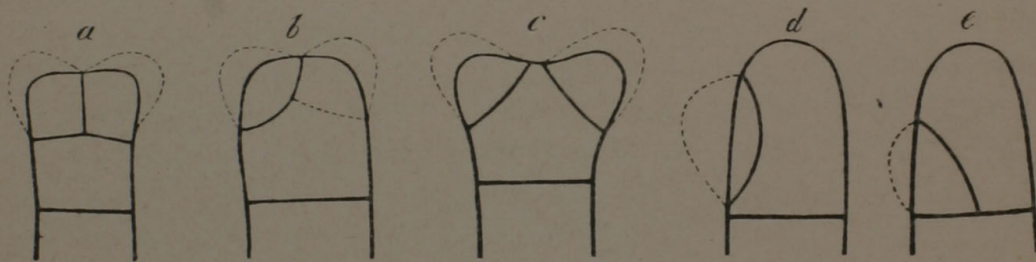
Wir stellen daher die Bildung seitlicher Organe bei höhern und niedern Pflanzen zusammen, indem wir die für die Entwicklungsgeschichte wichtigen Fragen, die im Wesentlichen immer dieselben sind, den verschiedenen im Vorhergehenden besprochenen Stufen entsprechend formuliren und so Stufe für Stufe fortschreitend die Punkte hervorheben, auf die es gerade ankommt.

1. Morphologischer Ort der Entstehung.

591 Die erste Frage, welche sich uns aufdrängt, ist die: wo oder woraus entsteht das neue Organ? Bei einzelligen Pflanzen, wo alle Theile nur Ausstülpungen der einen Zelle bilden, ist natürlich eine genauere Bestimmung der Verzweigungsstellen nicht wohl möglich, man müsste denn vergleichbare Anhaltspunkte finden, um die verschiedenen Alterszonen der Zellmembran zu unterscheiden, was bis jetzt nicht gelungen

ist. Alles, was hier zu ermitteln übrig bleibt, bezieht sich auf Punkte, die im Bereiche der drei folgenden Fragen liegen. Dagegen bieten die gegliederten Zellfäden, wo die Verzweigung mit Scheidewandbildung verbunden ist, schon eine ziemliche Zahl denkbarer Fälle, die in der Natur auch wirklich vertreten sind.

Zunächst ist hier zu untersuchen, ob die Verzweigung von der Scheitelzelle oder von einer Gliederzelle ausgehe. Hienach ordnen sich die sämtlichen Verzweigungen in zwei grosse Kategorien. Die Verzweigung der Scheitelzelle kann selbst wieder in sehr verschiedener Weise eingeleitet werden, wie man sogleich aus den in Fig. 277 dargestellten Theilungen ersieht, und es ist nicht immer leicht zu entscheiden, ob ein bestimmter Fall als wahre Dichotomie oder als Astbildung zu deuten sei. Eine vollkommene Gleichwerthigkeit der beiden Tochtterscheitelzellen besteht nämlich streng genommen nur in Fig. 277 *a*. In Fig. 277 *c* kann die eine Wand vor der andern auftreten: sie kann möglicher Weise auch etwas weiter nach unten rücken, so dass die nachfolgende zweite Wand mit ihrem oberen Rand sich an dieselbe ansetzt. Die Fig. 277 *c* stimmt alsdann im



Figur 277.

Wesentlichen mit Fig. 277 *b* überein. Ebenso lässt sich denken, dass die excentrische und nach innen convexe Wand in Fig. 277 *d* dem Centrum etwas näher rücke und in Folge dessen die Querwand berühre, womit ein Uebergang zu Fig. 277 *a* wenigstens angedeutet wäre. Man sieht, dass sich eine scharfe Grenze zwischen Dichotomie und Verästlung, oder wie man sonst die Unterschiede bezeichnen könnte, mit Rücksicht auf den Theilungsmodus der Scheitelzelle kaum ein für allemal ziehen lässt. Die Untersuchung muss daher immer zunächst feststellen, ob die Verzweigung des Scheitels constant in derselben Weise erfolge oder ob am nämlichen Individuum oder an Individuen derselben Species abwechselnd der eine und andere Typus zur Geltung komme.

Nach den bis dahin bekannt gewordenen Thatsachen ist es nicht rathsam, den Begriff der Dichotomie auf die absolute Gleichwerthigkeit der neuen Scheitelzellen zu basiren. Denn thatsächlich finden wir in der Natur alle möglichen Abstufungen der Ungleichwerthigkeit, und es kommt bei einer gegebenen Formenreihe immer mehr auf das genaue Studium derselben, als auf die Bezeichnung an. Man kann nur sagen, dass eine Dicho-

tomie um so ächter ist, je mehr sie sich dem einen Extrem, der absoluten Gleichwerthigkeit der neuen Scheitelzellen, nähert.*)

Geht die Zweigbildung von den Gliederzellen aus, so ist oft noch eine nähere Bezeichnung derselben nothwendig. Bei den Charen theilt sich z. B., wie bereits erwähnt, jede von der Scheitelzelle abgeschnittene Gliederzelle in zwei, wovon nur die obere Zweige bildet. Ein ähnliches Verhältniss beobachtet man auch bei *Cladostephus*. Bei *Polysiphonia* ist jedes Glied ohne Ausnahme verzweigungsfähig, bei den *Callithamnien* oft nur je das 2te, 4te u. s. f. Dieselbe Gesetzmässigkeit herrscht auch bei der Blattbildung der Moose, indem jede von der Scheitelzelle abgeschnittene Segmentzelle ein Blatt anlegt. — In der Regel wird man auch die Wahrnehmung machen, dass Abzweigungen, welche die Function von Wurzeln verrichten, desgleichen die Berindungsfasern (bei Florideen etc.) vorzugsweise vom untern Theil der Mutterzelle abgehen, während die gewöhnlichen Zweige fast immer am obern Ende derselben ihren Ursprung nehmen. Jedenfalls ist zu untersuchen, ob solche Verschiedenheiten, wenn sie überhaupt vorkommen, einem bestimmten Gesetze unterliegen oder nicht.

592 Bei einfacher gebauten Zellflächen und Zellkörpern sind es überhaupt nicht selten morphologisch genau zu bestimmende Zellen, aus denen die neuen Organe hervorgehen, — bei den erstern gewisse Rand- oder Flächenzellen, bei den letztern gewisse Aussen- oder Innenzellen. Zuweilen geht in der betreffenden Zelle ein bestimmter Theilungsprocess voraus, welcher erst die Zelle liefert, die als die Anlage der seitlichen Organe zu betrachten ist.

Eine ähnliche Gesetzmässigkeit herrscht auch bei den complicirter gebauten Pflanzen; allein da der Aufbau sich hier nicht mehr Zelle für Zelle ermitteln lässt, so kann es sich folgerichtig nur noch um die Frage handeln, welchen Zellcomplexen, Zellschichten oder Partien des Gewebes die neuen Organe ihre Entstehung verdanken, wobei natürlich vorausgesetzt ist, dass die Anatomie und die Wachstumsweise des Mutterorgans bereits bekannt sei. Vor Allem wichtig ist die Unterscheidung zwischen oberflächlichen und bedeckten Geweben, oder, was auf dasselbe herauskommt, die Unterscheidung zwischen Organen, die an der Oberfläche entstehen und solchen, die aus dem Innern hervorbrechen: Die genauere Bezeichnung der Bildungsstätte kommt erst in zweiter Linie in Betracht.

Für die Gefäßpflanzen mit Scheitelzelle ist im entwickelten Zustande als festgestellt zu betrachten, dass nur folgende verschiedene Gewebe seitliche Organe bilden können: 1) die Epidermis, 2) das oberflächliche Bildungsgewebe (der Stammspitze, des jungen Blattes etc.), 3) das bedeckte

*) Vgl. hierüber Pringsheim »über den Gang der morphologischen Differenzirung in der Sphacelarien-Reihe« in den Abh. d. kgl. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1873. Ferner: Kny und Magnus in den Sitzungsberichten d. Ges. naturforsch. Freunde zu Berlin, 1872; sodann die Abhandlung von Magnus »Zur Morphologie der Sphacelarieen« in der Jubiläumsfestschrift obiger Gesellschaft, 1873.

Bildungsgewebe der Wurzelspitze, 4) das Cambium und die das Cambium umschliessende Parenchymschicht. Es bleibt also nur noch zu untersuchen, welches von diesen Geweben in einem gegebenen Falle den Ausgangspunkt bilde.

Als Organe, welche von der Epidermis ausgehen, sind die Trichombilde (Haare, Stacheln, Schuppen etc.); als solche, welche im Bildungsgewebe der Stammspitze (vor dem Auftreten der Epidermis) ihren Ursprung haben, die Blätter und die Gabelzweige; als Producte des bedeckten Wurzelscheitels die durch Gabelung entstehenden Wurzeläste, endlich als Producte des Cambiums und der angrenzenden Parenchymzellen die Wurzeln und Adventiväste zu erwähnen.

Bei den Gefässpflanzen ohne erkennbare Scheitelzelle sind die verschiedenen Gewebesysteme, wenn wir die Hanstein'sche Bezeichnung gebrauchen, bei der Anlegung neuer Organe in folgender Weise betheiligt. Für die Trichome figuriren als Erzeuger Dermatogen und Periblem, für die Blätter und blattwinkelständigen Knospen wiederum das Periblem unter Mitwirkung des Dermatogens, für die Adventivknospen das Cambium, für die Gabelzweige der Wurzeln Periblem und Plerom, für die Seitenwurzeln das Cambium oder Pericambium.

Was die Verzweigung und Lappenbildung der Blätter betrifft, so wäre zu untersuchen, ob die Anlage seitlicher Theile constant nur an solchen Stellen stattfindet, resp. deutlich werde, wo eine Epidermis noch nicht vorhanden ist. Wie die Epidermisbildung selbst und mit ihr die Differenzirung der Gewebe am primären Blattstrahl fortschreitet, ist eine Frage, welche nicht hieher gehört, sondern mit der Wachsthumsgeschichte dieses Strahls zusammenhängt. Es ist bekannt, dass die Blattbasis in vielen Fällen noch aus einem durch und durch gleichförmigen Bildungsgewebe besteht, wenn die Blattspitze die ersten Stadien der Differenzirung schon zurückgelegt hat. Daher lässt sich denn auch von vorne herein erwarten, dass auch am untern Theile des Blattes, ähnlich wie in der Stammspitze, neue seitliche Organe zum Vorscheinkommen.

Die Anwendung der im Vorhergehenden entwickelten Principien auf Moose, Lebermoose und die niedern Kryptogamen bietet keinerlei Schwierigkeiten. Es handelt sich immer um die Frage: Wird das neue Organ vor oder nach der Differenzirung des Gewebes angelegt und wenn nachher, in welchem Theile entsteht die neue Anlage? So findet man z. B., dass die Apothecienanlage im Flechtenthallus unterhalb der Rinde in der Gonidienzone entsteht und später die Rinde durchbricht, während die Adventivzweige der strauchartigen Flechten von der Rinde abgehen.

Da es a priori unwahrscheinlich ist, dass morphologisch gleichwerthige Organe in ungleichartigen Geweben gebildet werden, so ist in Fällen, wo man diess zu sehen glaubt, immer die grösste Vorsicht zu empfehlen.

2. Morphologische Unterscheidung der Organe.

593 Die seitlichen Organe, welche an ihren respectiven Mutterorganen auftreten, zeigen in morphologischer Hinsicht, wenn man das ganze Gewächreich vergleichend überblickt, mancherlei Unterschiede. Je höher eine Pflanze steht, d. h. je complicirter der Bau ihrer Organe, um so grösser die Zahl der Abstufungen, welche in den seitlichen Organen sich kundgeben.

Bei den einfachsten Pflanzen, welche seitliche Organe erzeugen, sind diese letztern blosse Wiederholungen des Mutterorgans und mit demselben morphologisch gleichwerthig, so z. B. bei den Rivularieen, Scytonemeen etc. Solche Pflanzen gehören mit den unverzweigten Diatomeen, Palmella-ceen etc., ferner mit den Nostocheen in dieselbe grosse Kategorie: es sind Phytome.

Dagegen begegnen wir schon bei manchen einzelligen Algen (*Botrydium*, *Caulerpa* u. a.), dann bei den meisten Fadenalgen (*Conferven* u. a.) einem deutlichen morphologischen Gegensatz zwischen dem verzweigten oder unverzweigten Hauptkörper der Pflanzen und jenen haarähnlichen seitlichen Gebilden, welche bei *Botrydium* und *Rhizoclonium* die Wurzelhaare, bei andern die Berindungsfasern etc. darstellen; wir haben also hier eine zweite Kategorie von Gewächsen: Thallome mit Trichomen.

Auf der nämlichen Stufe steht die Gliederung des Pflanzenstockes auch bei den höhern Algen, den sämmtlichen Fucoideen und Florideen, sowie ferner bei Flechten und Pilzen. Nur begegnen wir hier einer grössern Mannigfaltigkeit der Formen. Das Thallom ist bekanntlich bald krustenartig oder blattartig und dann einblättrig oder zierlich gelappt, bald strauchartig und dann mehr oder weniger verzweigt; die Trichome stehen bald einzeln, bald zu besondern Büscheln vereinigt; bald sind sie ferner frei, bald auch zu einem förmlichen Gewebe oder zu grössern Haftorganen verflochten oder verwachsen.

Erst bei den Lebermoosen und Laubmoosen differenzirt sich das Thallom in Stamm und Blatt, welche beide wieder Trichome bilden können, und von den Gefässkryptogamen an aufwärts erzeugt der Stamm noch ein weiteres Organ, die Wurzel. — Die am höchsten organisirten Pflanzen besitzen also vier wesentlich verschiedene Organe: Stamm, Blatt, Wurzel und Trichom, von denen natürlich jedes wieder mancherlei Abstufungen der Entwicklungsfähigkeit und überdiess zahllose Formverschiedenheiten darbietet.

Jedes der genannten Organe kann sich wiederholt verzweigen, wobei die Strahlen der verschiedenen Ordnungen gleich- oder ungleichwerthig sind. Wir wollen die ungleichen Werthigkeiten, welche hiebei hervortreten, als Rangstufen bezeichnen. Bei dem Aufbau eines Systems aus verschiede-

nen Rangstufen herrscht die Regel, dass jeder Strahl nur Seitenstrahlen der gleichen oder nächstfolgenden Stufe hervorbringt.

Anmerkung 1. Der Unterschied zwischen Ordnung und Rangstufe wird durch folgende Beispiele deutlich. Bei *Lathyrus* besteht die ganze Caulomverzweigung aus drei Rangstufen, nämlich aus Laubsprossen, Blüthenspindeln und Blütenstielen. Die Laubsprosse sind wiederholt verzweigt, somit Strahlen verschiedener Ordnungen. An den Strahlen jeder Ordnung stehen die Blüthenspindeln. Demgemäss sind an einer beliebigen Caulomverzweigung die Laubsprosse Strahlen der 1^{ten} bis $n-2^{\text{ten}}$, die Blüthenspindeln Strahlen der 2^{ten} bis $n-1^{\text{ten}}$, die Blütenstiele Strahlen der 3^{ten} bis n^{ten} Ordnung. — Bei vielen Labiaten sind zwei Rangstufen vorhanden, nämlich der Stengel mit seinen Verzweigungen und die Blütenstiele mit ihren Verzweigungen. Bezeichnen wir die Zahl der Ordnungen bei der Stengelverzweigung mit n , diejenige des Blütenstandes mit m , so sind an der Gesamtverzweigung die Sprosse der ersten Rangstufe Strahlen der 1^{ten} bis n^{ten} , die der zweiten Stufe Strahlen der 2^{ten} bis $(n+m)^{\text{ten}}$ Ordnung. — Die Morphologen haben die Combination verschiedener Rangstufen als ein-, zwei- und mehraxige Pflanzen unterschieden.*)

Anmerkung 2. Die quirlständigen Thallomstrahlen einiger Algen (*Chara*, *Cladostephus*) sind in neuester Zeit wiederholt als Blätter bezeichnet worden, mit der ausdrücklichen Bemerkung, dass sie diesen Namen in jeder Hinsicht verdienen. Unter diesen Umständen mag es am Platze sein, an dieser Stelle die Frage zu erörtern, ob im Hinblick auf die beobachteten Thatfachen und den herkömmlichen Sprachgebrauch die Nothwendigkeit vorliege, die fragliche Bezeichnungsweise auf die genannten Algen zu übertragen. Wir sehen bei den höhern Gewächsen verschieden-gestaltige, jedoch meist in die Fläche entwickelte Organe auftreten, welche nicht etwa als Strahlen einer bestimmten Rangstufe desselben Organs gedeutet werden können, da sie an allen Stufen ohne Ausnahme, von der 1. bis zur letzten stehen. Betrachten wir z. B. eine Pflanze, welche in regelmässiger Stufenfolge Rhizom, Laubstamm, Blüthenspindel und Blütenstiele hervorbringt, so vermissen wir die in Rede stehenden Gebilde bei keiner der genannten Stufen. Darum ist für sie eine besondere Bezeichnung unumgänglich nothwendig; es sind diess nicht etwa Stammorgane der letzten Rangstufe, sondern Blätter. Dieser nämlich Nothwendigkeit einer besondern Bezeichnungsweise begegnen wir auch bei den Muscineen. Wie verhalten sich nun aber die angeblichen Blätter von *Chara* und *Cladostephus*? Es sind Strahlen zweiter Rangstufe an morphologisch gleich-

*) Das Wort Axe wird in sehr verschiedener Bedeutung gebraucht, bald für Stengelorgane, bald allgemein für jeden Theil eines Verzweigungssystems, bald bloss für bestimmte ungleichwerthige Theile desselben. Da überdiess das Wort Axe auch im geometrischen Sinne fortwährend zur Anwendung kommt, so haben wir es vorgezogen, für die oben bezeichneten Begriffe die Worte Caulom, Strahl und Rangstufe zu gebrauchen.

werthigen Hauptstrahlen (wozu auch die Gabelzweige und die Innovations-sprosse zu rechnen sind), von diesen durch ihr begrenztes Wachsthum und durch gewisse Eigenthümlichkeiten des anatomischen Baues verschieden; sie erzeugen ihrerseits Strahlen dritter Stufe, welche durch analoge Besonderheiten von den Mutterstrahlen differiren. Die Abstufung kann möglicher Weise noch weiter gehen. Aber in keinem der beobachteten Fälle finden sich morphologisch gleichwerthige und von Trichomen oder Adventivtrieben unterscheidbare Organe an Strahlen ungleicher Rangstufe, wie diess bei den beblätterten Pflanzen so häufig der Fall ist. Darum eben liegt ein zwingender Grund, die fraglichen Strahlen zweiter Stufe Blätter zu nennen, nicht vor.

594 Die richtige Unterscheidung dieser Organe, so leicht sie bei vielen Pflanzen erscheinen mag, ist in andern Fällen eine sehr schwierige Aufgabe und erfordert alsdann die Berücksichtigung aller Verhältnisse. Wir beschränken uns hierüber auf folgende Andeutungen.

Bei den Thallompflanzen sind zunächst die Trichome, welche als Wurzelhaare auftreten, jedenfalls immer als solche zu erkennen; bei denjenigen, deren Thallome Zellkörper sind, ist ferner ganz allgemein eine Verwechslung mit andern Gebilden nicht möglich, weil die Trichome hier durch die Entstehung aus den Epidermiszellen scharf charakterisirt sind. An diesem Merkmal erkennt man z. B. die Faserbüschel von *Fucus* und vieler andern Algen, desgleichen die Paraphysen und die Fäden, an denen die Sporen und Antheridien entstehen, als Trichome; auch die Berindungsfäden der Florideen und Fucoideen, dann von *Batrachospermum* u. a. gehören meistens hieher. Dagegen lässt sich die Frage, ob manche Verzweigungen von einzelligen oder gegliederten Fadenpflanzen (Siphoneen, Confervaceen, Callithamnieen, Schimmelpilzen etc.) als begrenzte Thallomzweige oder als Trichome aufzufassen seien, bloss durch Analogie mit einiger Wahrscheinlichkeit entscheiden.

Eigenthümliche Verhältnisse bieten die Vorkeimgebilde und die fadenförmigen Rhizoiden der Muscineen dar. Nach den Form- und Wachstumsverhältnissen, welche den Vorkeim der Sphagneen und mancher Lebermoose kennzeichnen, ist derselbe als Thallom zu betrachten, dessen Befestigung auf der Unterlage, wie gewöhnlich, durch Trichome geschieht. Fadenförmige Thallomzweige dringen auch wohl in das Substrat ein, verlieren dabei ihren Chlorophyllgehalt und bilden alsdann die sogenannten Rhizoiden, die sich von den oberirdischen, grünen Thallomstrahlen überdiess durch stärkere Neigung der Querwände unterscheiden. Gleichwerthige Thallomzweige, die sowohl oberirdisch als unterirdisch fortwachsen können, entwickeln sich auch aus den Moosstämmchen; es sind das die von H. Müller als Zweigvorkeime bezeichneten Gebilde. Alle diese Thallomstrahlen bilden seitliche Verzweigungen, die theils unbegrenzt sind und in jeder Hinsicht mit dem Mutterstrahl übereinstimmen, theils aber auch

mehr oder weniger begrenzt oder selbst verkümmert. Eine ausgesprochene Differenzirung in begrenzte und unbegrenzte Triebe, in welchen der Gegensatz zwischen Stamm und Blatt wieder zu erkennen wäre, findet jedoch nicht statt. Ebensowenig kommen Trichome als morphologisch zu unterscheidende Organe vor. Dagegen zeigen diese Thallomstrahlen bezüglich der Lage und Entwicklungsfolge der Scheidewände sowohl beim Scheitelwachsthum als bei der Anlage der Auszweigungen eine merkwürdige Analogie mit dem Moosstämmchen, so dass jeder Protonemastrahl gewissermaassen als ein in die Länge gezogenes und in den ersten Entwicklungsstadien zurückgebliebenes Stämmchen erscheint. *)

Bei den beblätterten Pflanzen erscheint an Stelle des Thalloms 595
Caulom und Phyllom; ersteres ist das centrale, letzteres das seitliche Organ. Dieser Gegensatz tritt in der Art auf, dass beide als verschiedene Organe betrachtet werden müssen, und dass man nicht etwa das Blatt als eine Verzweigung des Stengels ansehen darf, da ja dasselbe seitlich an allen Caulomstrahlen steht und daher nicht die letzte Rangstufe derselben sein kann. Dazu kommt, dass die Blätter fast ausnahmslos in acropetaler Folge dicht unter dem Scheitel des Stengels entstehen. Im Uebrigen giebt es keinen durchgreifenden, weder morphologischen noch anatomischen Unterschied zwischen Caulom und Phyllom. Doch ist im Allgemeinen das Caulom cylindrisch oder prismatisch mit annähernd gleicher Vertheilung und Orientirung der Gewebepartieen rings um die Axe, während das Phyllom gewöhnlich durch flächenartige Ausbreitung und einseitige Orientirung der Gewebe sich auszeichnet.

Die Trichome bilden sich seitlich an allen andern Organen und zwar fast ausnahmslos ohne regelmässige Entwicklungsfolge und Anordnung.

Für die nähere morphologische Betrachtung der beblätterten Pflanzen 596
sind drei Gruppen zu unterscheiden, die sich verschieden verhalten und darum eine gesonderte Betrachtung verdienen: die Muscineen, die Gefässkryptogamen mit deutlicher Scheitelzelle und die Gefässpflanzen ohne erkennbare Scheitelzelle. Bei den Muscineen ist der Unterschied zwischen Stamm und Blatt in der Anlage noch nicht durchgehends ausgesprochen. Die Blätter entstehen aus den von der Scheitelzelle abgeschnittenen Segmentzellen des Cauloms, wodurch sowohl die acropetale Aufeinanderfolge derselben, als auch die regelmässig spiralige Anordnung am Stamme bedingt wird. Die Caulomzweige nehmen zuweilen die Stelle von Blättern (*Fossombronja*) oder Blatthälften (*Frullania* u. a.) ein: in der Regel jedoch entspringen sie aus dem untern Theil der Stengelsegmente, während der obere das Blatt bildet (*Radula*, *Laubmoose*). Ausserdem kommen bei den

*) Die Verzweigungen des Moosvorkeims dürfen nicht als Blätter betrachtet werden. Denn erstens sind sie nicht immer begrenzt; zweitens ist die Lage der Scheidewände nicht alternirend rechts und links, und drittens sind diese angeblichen Blätter verzweigt.

Jungermannieen endogene Sprossbildungen vor. — Die Trichome entstehen aus peripherischen Zellen und sind meistens Wurzelhaare.

- 597** Bei den Gefässkryptogamen mit Scheitelzelle entstehen die Blätter einzeln oder zu mehreren aus den Segmenten unterhalb der Scheitelzelle des Stammes *), die Caulomverzweigungen dagegen durch Dichotomie des Scheitels oder durch endogene Knospenbildung aus den Anheftungsstellen der Blätter (*Equisetum*). Die Wurzeln unterscheiden sich von den andern Organen dadurch, dass ihre Scheitelzelle von der durch sie gebildeten Wurzelhaube bedeckt ist. Dieses Merkmal zeigt uns z. B., dass *Psilotum* keine Wurzeln besitzt und dass seine sogenannten Wurzeln unterirdische Stengel sind, was auch dadurch bewiesen wird, dass sie verkümmerte, nicht über die Oberfläche hervortretende Blattanlagen besitzen, die unter dem Mikroskop an der Anordnung der Zellen erkannt werden. Den Wurzeln gehen die Blätter vollständig ab, während sie dem Caulom, wenigstens der Anlage nach, wohl immer zukommen. Von den Blättern und Trichomen sind die Wurzeln überdiess dadurch verschieden, dass sie im Innern des Gewebes angelegt werden. Die Trichome endlich sind dadurch ausgezeichnet, dass sie durchgehends aus der Epidermis entspringen. Damit steht denn auch der sehr einfache Bau, die unregelmässige Entwicklungsfolge und Anordnung derselben im Zusammenhang (Spreuschuppen der Filicineen).

- 598** Bei den Gefässpflanzen ohne erkennbare Scheitelzelle ist die Unterscheidung der verschiedenen Organe schwieriger, da bezüglich der Entstehungsweise Uebergänge vorzukommen scheinen. Wenn von jeder Theorie über das Wachsthum am Scheitel abgesehen wird, so können wir etwa Folgendes festhalten. Das Caulom ist das centrale Organ, das immer an der Spitze Blattanlagen trägt; die Phyllome sind seitliche Organe, welche am Scheitel des Stengels in bestimmter Folge und Stellung auftreten. Die Wurzel ist das Organ, dessen zellenbildender Scheitel von einer Wurzelhaube bedeckt ist und das nie Blattanlagen erzeugt. Die Trichome endlich sind Organe, welche seitlich an allen übrigen stehen und zu keinem derselben gerechnet werden können.

Diese Definitionen reichen allerdings nicht vollständig aus; sie gelten aber für die grosse Mehrzahl der Fälle. Wo sie nicht entscheidend sind, wird die Identität der unbestimmten Organe mit einem der Hauptorgane durch die Gesammtheit der übrigen Merkmale erwiesen.

Während die Entstehungsweise der Organe bei den Pflanzen mit Scheitelzelle charakteristische Verschiedenheiten zeigt, lässt sie uns hier

*) Nach Reess (Jahrb. f. wiss. Bot. VI, p. 209) entstehen bei *Equisetum* aus jedem Segment mehrere Blätter, und die Quirlstellung derselben kommt dadurch zu Stande, dass je drei Segmente (d. h. je ein Cyclus dieser letztern) durch ungleiches Wachsthum sich soweit verschieben, dass sie in gleiche Höhe zu liegen kommen und einen Quirl bilden.

fast gänzlich im Stich. In einigen Fällen (bei den Wurzeln und Adventivknospen) geschieht die Anlegung im Innern der Gewebe. Meistens jedoch treten die ersten Anfänge an der Oberfläche als Höcker auf (namentlich bei allen Phyllomen), wobei es ungewiss bleibt, ob die ersten Zelltheilungen, die der Beobachtung noch entgehen, bestimmte Eigenthümlichkeiten zeigen. Für die Trichome ergibt sich der bemerkenswerthe Unterschied, dass die einen bloss aus den Epidermiszellen, die andern aus Epidermis und unterliegendem Gewebe entspringen. Wir können jene als Hauttrichome, diese als Gewebetrichome (Emergenzen) unterscheiden. In Bezug auf die Ausbildung der Trichome ist übrigens zu bemerken, dass dieselben zuweilen auf dem Stadium der ersten Anlage stehen bleiben und dann von papillenartigen Vorsprüngen der Epidermis oder von blossen Höckern nicht mehr zu unterscheiden sind.

Ein neuer Unterschied in Bezug auf die Entstehung der Organe würde sich ergeben, wenn die Hanstein'sche Theorie vom Scheitelwachsthum (s. p. 374) richtig sein sollte. Es gäbe dann, je nachdem ein, zwei oder drei Systeme an der Bildung Theil nehmen, Dermatogenorgane, Periblem-Dermatogenorgane, Pleromorgane etc.

Die anatomische Structur kann im Allgemeinen nicht zur Unterscheidung der Organe benutzt werden. Am eigenthümlichsten verhalten sich noch die Wurzeln. Hier geht die Gefässbildung anfänglich von aussen nach innen, so dass die später gebildeten porösen und Treppengefässe innerhalb der Ring- und Spiralgefässe zu liegen kommen; dadurch unterscheiden sie sich anatomisch von allen Stengeltheilen der Phanerogamen. Wo der Stengel nach unten in eine Pfahlwurzel übergeht, lässt sich sogar die Grenze zwischen beiden mit ziemlicher Genauigkeit bestimmen. — Dagegen kommen zwischen Caulomen, Phyllomen und Trichomen nach Form und Bau Uebergänge vor. Es giebt Blätter, welche in der Gruppierung der Gewebe mit den Stengeln übereinstimmen, Blätter, denen die Gefässstränge mangeln, Trichome, welche solche besitzen etc.

Als ein besonders wichtiger Fall mag hier noch die Deutung der Re- 599
productionorgane bei den Gefässpflanzen besprochen werden. Was zunächst die Sporangien anbelangt, so sind dieselben bei den Farnkräutern Trichome der Blattunterseite; auch bei den übrigen Gefässkryptogamen (vielleicht mit Ausnahme von *Psilotum*?) entspringen sie aus Blättern und sind wahrscheinlich durchgehends entweder als Emergenzen oder als Theile des Blattgewebes zu betrachten.

Ein ähnliches Verhalten zeigen auch die Pollensäcke der Phanerogamen. Bei den Coniferen und Cycadeen erscheinen dieselben mehr als besondere Emergenzen, bei den meisten übrigen Phanerogamen eher als Theile des Blattgewebes.

Die Ovula betreffend, so entstehen dieselben bei der grossen Mehrzahl der Pflanzen am Fruchtblatt, bei einigen vielleicht (*Primulaceen*, *Taxus* etc.)

an einem Caulom. In manchen Fällen entspringt der Nucleus seitlich an dem kurzen, zapfenartigen Nabelstrang (*Centaurea*), in andern als Höcker an der Placenta selbst (*Orchis*). Die Eihüllen sprossen als Haut- oder Gewebetrichome unterhalb des Nucleus hervor und sind bei seitlicher Lage desselben sicher Bildungen des Funiculus.

Zur morphologischen Deutung der Ovula kann man dieselben füglich mit den Pollensäcken und den Sporangien der Gefässkryptogamen vergleichen. Die Berechtigung hiezu unterliegt keinem Zweifel, da ja der Embryosack der Makrospore, somit das Ovulum dem Makrosporangium, ferner der Pollensack dem Mikrosporangium entspricht. Demgemäss müssen die einen Organe — sofern die morphologischen Verhältnisse diese Annahme gestatten — phylogenetisch aus den andern entstanden sein. Nun sind die Makrosporangien, wie die übrigen Sporangien und die Pollensäcke, Theile oder Emergenzen des Blattes; in Uebereinstimmung hiemit können auch die Ovula der Phanerogamen in der grossen Mehrzahl der Fälle als Theile des Fruchtblattes, in andern Fällen zum Mindesten als ganzes Blatt gedeutet werden (möglich, dass einige wenige Ausnahmen vorkommen). Für die Blattnatur der Ovula sprechen auch die Bildungsabweichungen der Fruchtknoten, indem die Carpelle sich in Blätter, die Ovula in Theile derselben umwandeln.

600 Gegen die Deutung der Ovula als Knospe, wobei der Nucleus als Caulom, die Integumente als Phyllome zu betrachten wären, sprechen neben andern Gründen namentlich auch folgende Thatsachen. Man beobachtet bei Vergrünungen niemals auch nur eine Andeutung, dass seitlich am Fruchtblatt ein Stengel (Samenknospe) und seitlich an diesem ein Blatt (Integument) stände; vielmehr erscheint der durch Umbildung entstandene Theil als ein ununterbrochenes und einfaches Organ (Blatt oder Blattlappen). Ferner bildet sich aus dem Ovulum nur ein Blatt oder Blattlappen; wäre dasselbe ein Caulom und die Integumente Blätter, so müsste wohl auch der Fall vorkommen, dass beide Integumente sich blattartig ausbildeten, und selbst, dass noch neue Blätter hinzukämen.

Dagegen stimmen die beobachteten Thatsachen mit der Annahme, dass die Ovula Blattnatur besitzen, vollständig überein. Der mit Blattnatur begabte Theil hat nämlich bei der Vergrünung das Bestreben, die gewöhnliche Form eines ausgebreiteten Blattes anzunehmen. Dabei verkümmern am leichtesten diejenigen Bildungen, welche dem letztern gewöhnlich nicht zukommen, so der Kern und die Eihüllen. Eine Eihülle wird indess zuweilen in die Vergrünung aufgenommen, was um so erklärlicher ist, als dieselbe bei seitlicher Stellung des Kerns am Funiculus deutlich den Scheitel des letztern fortsetzt.*)

*) Vgl. hierüber Cramer, Bildungsabweichungen, Zürich 1869, besonders die Beobachtungen an *Primula* und *Centaurea*.

Die Blattnatur der Ovula ist um so wahrscheinlicher, als dadurch auch die phylogenetischen Beziehungen sich einfacher gestalten. Da nämlich Makro- und Mikrosporangien die gleiche morphologische Bedeutung haben, so ist anzunehmen, dass auch ihre Nachkommen, Pollensäcke und Ovula, morphologisch gleichwerthig seien. Die Uebereinstimmung zwischen den männlichen und weiblichen Organen zeigt sich auch darin, dass die Pollensäcke bei der grossen Mehrzahl der Angiospermen der Bauchseite der Staubblätter entsprechen; dass ebenso die Ovula, wenigstens in vielen Fällen, auf der innern Seite der Fruchtblätter stehen und der Eikern bei seitlicher Stellung am Funiculus sich auf der Bauchseite desselben befindet.

3. Entwicklungsfolge und Stellungsverhältnisse.

Eine dritte Frage, welche bei der Bildung seitlicher Organe in Betracht 601 kommt, betrifft die Entwicklungsfolge und die damit zusammenhängenden Stellungsverhältnisse. Sie ist jedoch selbstverständlich nur auf Organe von gleicher Natur, z. B. auf die successiven Blätter oder auf die Wurzeln zu beziehen. Es kommt hier namentlich darauf an, zu untersuchen, ob die neuen Organe in ganz beliebiger Folge und Stellung zwischen bereits vorhandenen auftreten, oder ob mit Rücksicht hierauf ein gewisser, in jedem gegebenen Falle näher zu bestimmender Grad von Regelmässigkeit obwalte. Die Abstufungen, welche hiebei unterschieden werden können, sind etwa folgende.

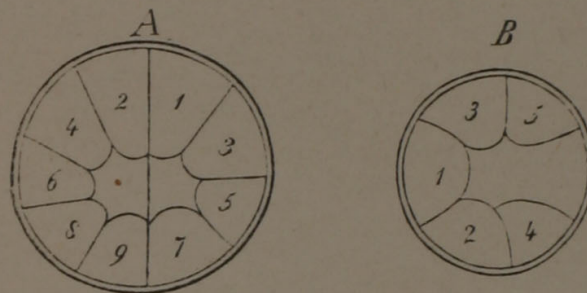
a) Die Organe entstehen regellos über, unter und neben den schon vorhandenen in ganz beliebiger Stellung, wie man es beispielsweise an Haaren, an manchen Wurzeln und an Adventivknospen beobachtet.

b) Die Organe entstehen in Längsreihen. Für die neu hinzukommenden Glieder einer Reihe bestehen alsdann noch zwei Möglichkeiten: sie werden entweder regellos über und zwischen den schon vorhandenen angelegt, oder sie setzen die Reihe derselben nach einer Seite (oder auch nach beiden Seiten) hin fort. — Hieher gehörige Fälle beobachtet man namentlich da, wo die Organ-bildenden Gewebe selbst eine bestimmte Anordnung zeigen. So stehen z. B. die Wurzeln nicht selten in deutlichen Reihen, weil sie sich nach gewissen Gefässgruppen, Cambiumbündeln oder Parenchymzellreihen richten, welche im Mutterorgan der Länge nach verlaufen. Auch begegnet man in vielen Fällen, insbesondere bei Gefässkryptogamen und Monokotylen, einer regelmässigen Entwicklung in der Art, dass die jüngsten Wurzelanlagen in jeder Reihe immer zunächst der Scheitelregion gefunden werden. Mit der Reihenbildung selbst steht jedoch selbstverständlich diese Gesetzmässigkeit in keinem Zusammenhang.

c) Die Organe entstehen in Quirlen, d. h. sie bilden Querreihen auf der eben gelegten Oberfläche des Mutterorgans. In diesem Falle ist darauf zu achten, ob die einzelnen Glieder eines Quirls gleichzeitig her-

vortreten oder ob sie nach einander in einer gewissen Reihenfolge zum Vorschein kommen. Ueberdiess ist die Beziehung der successiven Quirle zu einander ins Auge zu fassen.

Als Beispiel sei hier die Verzweigung der Charen erwähnt. Die zweigbildende Zelle ist sowohl bei den Stämmchen als bei den Quirlzweigen die obere Theilzelle einer ursprünglichen Gliederzelle. Bei den Stämmchen theilt sich dieselbe zunächst durch eine mediane Längswand in zwei gleichwerthige Tochterzellen, von denen in der Folge jede in eine Innenzelle und mehrere Aussenzellen zerfällt (Fig. 278 A); die letztern sind die Anlagen der seitlichen Organe. Die Quirlzweige verhalten sich ähnlich, nur fehlt hier den Knotenzellen die mediane Längswand. Die erste Theilung geschieht hier durch eine excentrische Wand, an welche sich die folgenden nach beiden Seiten hin anschliessen (Fig. 278 B). Die Reihenfolge der Scheidewände ist in den Figuren durch die den Zellen beigesetzten Ziffern bezeichnet; die Anlage beginnt hienach mit der Zelle 1 und schreitet nach rechts und links bis zur gegenüberliegenden Seite fort. In derselben Reihenfolge treten auch die von diesen Zellen gebildeten Zweige auf. Zwi-



Figur 278. (250)

schen den successiven Quirlen besteht das Verhältniss, dass der erste Zweig eines folgenden Knotens um einen bestimmten Theil des Kreisumfanges vom ersten des vorhergehenden absteht, so dass alle ersten Zweige zusammengekommen meistens eine fortlaufende Spirale bilden.

d) Die Organe entstehen in einer fortlaufenden Spirale oder in einer Zickzacklinie, jedes neu hinzukommende über dem vorhergehenden und in horizontaler Richtung um eine bestimmte, meist immer gleiche Grösse von diesem wie vom nächstfolgenden entfernt. — Dieser Fall ist von den vorhergehenden dadurch ausgezeichnet, dass hier sämtliche Organe nur ein System bilden, in welchem die Stellungsverhältnisse nach allen Richtungen gesetzmässig sind. Zwischen Spirale und Zickzacklinie bildet die alternirend zweizeilige Stellung den Uebergang. — Beispiele für diese Entwicklungsfolge liefert die Blattbildung bei den Moosen und vielen Gefässpflanzen.

Eine besondere Modification dieser Entstehungsweise kommt dann zu Stande, wenn die seitlichen Organe im Verhältniss zum Stengelumfang

sehr klein sind. Die bereits vorhandenen bilden alsdann eine grössere Anzahl rechts und links verlaufender Schrägzeilen, und die neu hinzukommenden setzen diese Reihen nach oben fort, ohne dass hiebei die acropetale Entwicklungsfolge auf der sogenannten Grundspirale streng eingehalten würde.

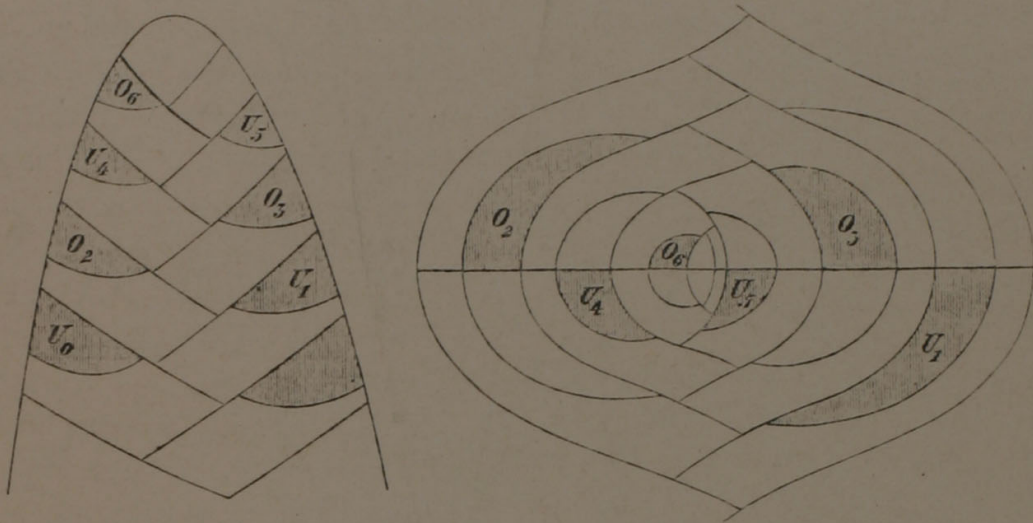
Die Stellungsverhältnisse der ausgebildeten Organe sind 602 natürlich von den eben besprochenen der Anlagen mehr oder weniger abhängig, jedoch selten in dem Grade, dass zwischen dem jugendlichen und dem ausgebildeten Stadium eine vollständige Uebereinstimmung bestände. Es kommen im Gegentheil sehr häufig Verschiebungen vor, wodurch die ursprüngliche Stellung wesentliche Veränderungen erfährt, indem z. B. Blattdivergenzen vergrössert oder verkleinert, Spiralen in scheinbare Quirle übergeführt werden u. dgl.

Mit Rücksicht auf diese Veränderungen während der Ausbildung der Organe sind zwei Zustände zu unterscheiden, nämlich das erste Sichtbarwerden der neuen Anlagen und der entwickelte Zustand derselben. Wenn eine Anlage schon beim ersten Sichtbarwerden vielzellig ist, so drängt sich die Frage auf, ob sie vielleicht aus einer einzigen Zelle hervorgegangen sei. Wäre diess der Fall, so müsste der Ursprung weiter nach rückwärts verlegt werden, und es könnten von dem ursprünglichen Auftreten bis zum ersten Sichtbarwerden bereits Verschiebungen stattgefunden haben. Das letztere wäre z. B. für die Blatthöcker der Phanerogamen anzunehmen, sofern dieselben zu den Theilungen in der Scheitelregion in einer bestimmten Beziehung stehen (vgl. p. 574). Dass solche Verschiebungen in der That vorkommen, beweist das Beispiel von *Equisetum*, wo die ursprünglichen Zellen in einer Schraubenlinie stehen, die Höcker aber als Quirle sichtbar werden. — Ebenso ist als ein weiterer Fall dieser Art der eigenthümliche Aufbau ungleichblättriger Selaginellen zu nennen, wo die Blattanlagen nach den Untersuchungen von Pfeffer*) zwar nicht in spiraliger Reihenfolge, jedoch ebenfalls succedan in den von der Scheitelzelle abgeschnittenen Segmenten entstehen und wo die nachträglichen Verschiebungen gewöhnlich in der Art stattfinden, dass je zwei aufeinander folgende Blätter, nämlich je ein Unterblatt und ein Oberblatt, zusammen ein Paar bilden. Daneben kommt es freilich auch vor, dass diese zweizähligen Quirle stellenweise oder fast durchgehends in ihre einzelnen Glieder aufgelöst sind, von denen jedes folgende etwas höher am Stamme inserirt ist, als das vorhergehende.

Zur Veranschaulichung des innern Zusammenhanges, der zwischen 603 diesen Vorkommnissen bei *Selaginella* besteht, wollen wir nun, gestützt auf eigene Beobachtungen an ausgewachsenen Stämmchen, den Versuch machen,

*) Pfeffer, Die Entwicklung des Keimes der Gattung *Selaginella*, in Hanstein's Bot. Abh. I. Bonn 1871.

die thatsächlich vorkommenden Blattstellungen mit der Pfeffer'schen Darlegung der Theilungsvorgänge, auf welchen die Bildung der Blattanlagen beruht, in Einklang zu bringen. Zu diesem Behufe ist vor Allem nothwendig, die geometrischen Consequenzen zu ziehen, welche sich aus den Pfeffer'schen Abbildungen ergeben, und auf Grund derselben die Stammspitze mit ihren Segmenten und den davon abgeschnittenen Blattanlagen schematisch zu construiren. Man erhält für die Längs- und Querschnittsansicht die Schemata Fig. 279, in welchen die Anlagen der Oberblätter mit O , diejenigen der Unterblätter mit U bezeichnet sind; die beigesetzten Ziffern



Figur 279.

entsprechen der natürlichen Reihenfolge von unten nach oben. Zur Erklärung der Querschnittsansicht sei noch bemerkt, dass die Segmente, ähnlich wie im Scheitel der Moosblätter oder im Stämmchen von Fissidens, zweizeilig gestellt sind und dass bloss die schraffierte Hälfte der davon abgeschnittenen Stücke, die wir im Folgenden als Quadranten bezeichnen werden, als Blattanlage zu betrachten ist. In der Längsansicht liegen demzufolge die mit O bezeichneten Abschnitte nicht in der gleichen Ebene mit den zugehörigen U ; jene sind dem Beobachter zugewendet, wenn diese abgewendet sind, und umgekehrt. Für die Divergenzen zwischen den successiven Blattanlagen ergeben sich hienach, wenn man den Horizontalabstand von einer Längsreihe zur nächstfolgenden zu $\frac{1}{4}$ des Umfanges ansetzt, folgende Werthe:

$$\overbrace{U_1 \quad + \frac{1}{2} \quad O_2 \quad + \frac{1}{4} \quad O_3} \quad \overbrace{- \frac{1}{2} \quad U_4 \quad - \frac{1}{4} \quad U_5} \quad \overbrace{+ \frac{1}{2} \quad O_6 \quad + \frac{1}{4} \quad O_7} \quad \text{etc.}$$

oder wenn man O_2 als Ausgangspunkt wählt:

$$\overbrace{- \frac{1}{2} \quad U_1} \quad \overbrace{+ \frac{1}{4} \quad O_2 \quad + \frac{1}{2} \quad O_3} \quad \overbrace{- \frac{1}{4} \quad U_4 \quad - \frac{1}{2} \quad U_5} \quad \overbrace{+ \frac{1}{4} \quad O_6 \quad + \frac{1}{2} \quad O_7} \quad \text{etc.}$$

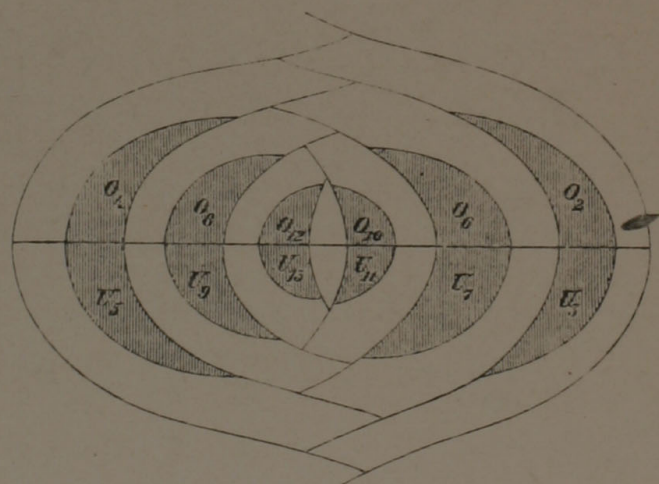
Die Blätter stehen also in einer Zickzacklinie, welche aus kurzen, ab-

wechselnd rechts- und linksläufigen Spiralen mit je zwei Divergenzen besteht. Die Wendepunkte dieser Zickzacklinie sind in vorstehenden Reihen durch \sim bezeichnet, und der Gegensatz in der Richtung beim Aufsteigen von einem Blatt zum nächstfolgenden ist durch die Zeichen $+$ und $-$ angedeutet.

In mechanischer Hinsicht ist diese Blattstellung dadurch charakterisiert, dass je das dritte Blatt so weit als möglich von den beiden vorhergehenden absteht, wobei indess das nächstliegende Blatt den grössern, das folgende den kleinern Ausschlag giebt. Gehen wir z. B. von U_1 in Fig. 279 aus, so liegt O_2 demselben opponirt; O_3 käme wieder über U_1 zu stehen, wenn es bloss unter dem Einfluss von O_2 stände, allein es wird von U_1 auf die obere Seite gedrückt und zwar aus morphologischen Gründen um einen Quadranten. U_4 steht wieder opponirt, weil diese Stellung zugleich die entsprechende Verschiebung gegen O_2 mit sich bringt; U_5 wird dagegen abermals von dem zweitunteren Blatt abgestossen und in den nächstanliegenden Quadranten hinübergeschoben, u. s. f.

Mit obigen Reihen, wie sie aus den Theilungsvorgängen in den Segmentzellen sich ergeben haben, stimmen nun gewisse, an ausgewachsenen Stämmchen beobachtete Auflösungen mit Rücksicht auf die Insertionshöhe der einzelnen Blätter genau überein. Mit andern Worten: wenn Unter- und Oberblätter ausnahmsweise isolirt stehen, statt in zweizähligen Quirlen, so stimmt die Reihenfolge derselben, womit natürlich auch die Divergenz zusammenhängt, mit derjenigen der Segmentstücke, aus denen sie hervorgegangen sind, genau überein.

Bei den in Rede stehenden Auflösungen liegen die Wendepunkte der 604 Zickzacklinie, wie ein Blick auf die Figuren zeigt, stets rechts oder links, d. h. in den Ober- und Unterblättern der rechten oder der linken Seite. Es kommen nun aber auch andere Fälle von Auflösungen vor, wobei die Wendepunkte der Zickzacklinie oben oder unten, d. h. in die beiden Reihen der Oberblätter oder in diejenigen der Unterblätter zu liegen kommen. Auch diese Fälle sind auf Vorgänge in der Scheitelregion zurückführbar, jedoch nur unter der Voraussetzung, dass jedes Segment in gleicher oder ungleicher Höhe zwei Blätter erzeuge, und zwar aus jedem der beiden Quadranten des abgeschnittenen Stückes je ein Blatt. Diese Voraussetzung



Figur 280.

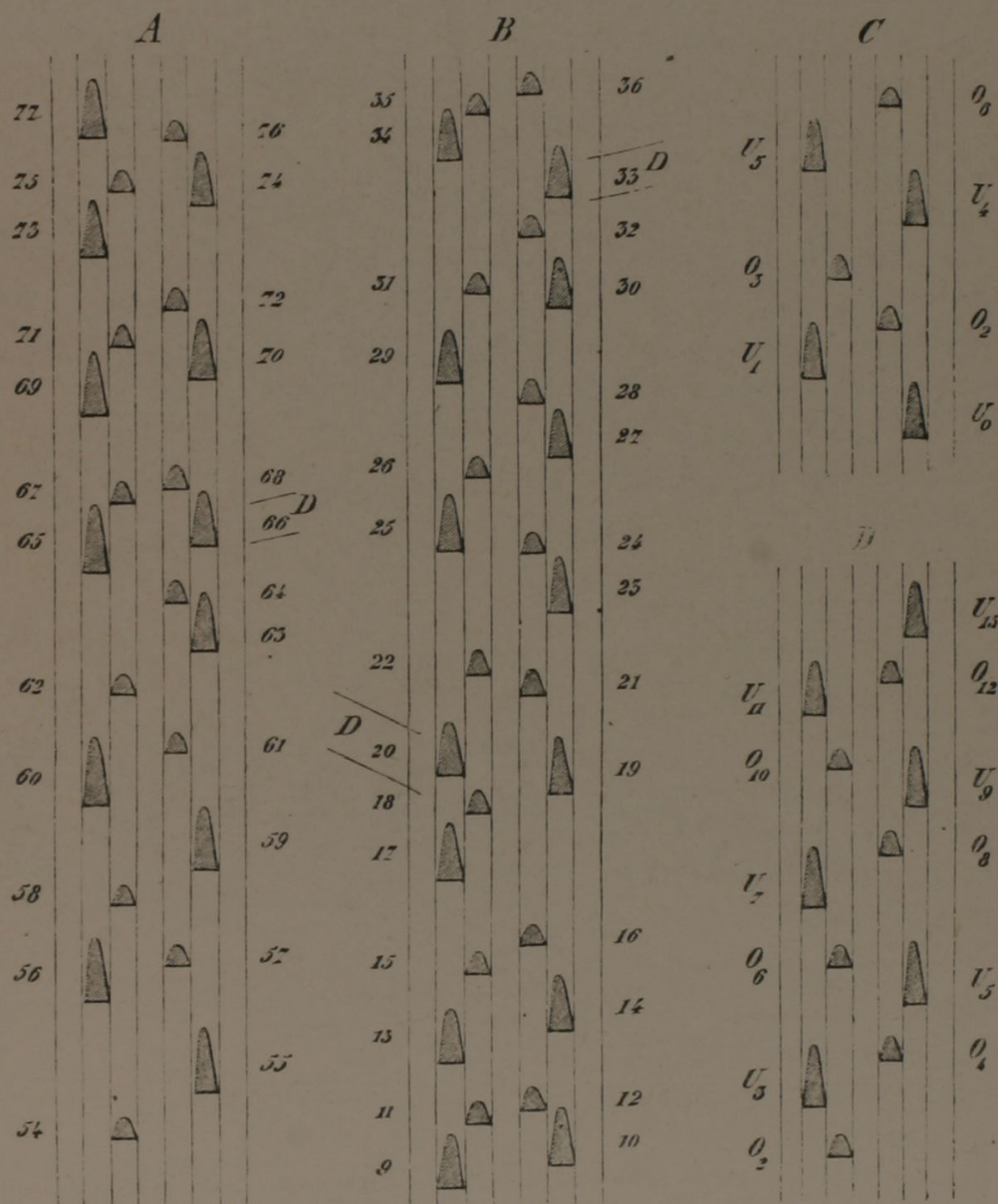
ist morphologischer Natur; mechanisch betrachtet behalten wir die Bedingung bei, dass die Blattbildung von einem Segment, nachdem hier zwei Anlagen entstanden, stets auf den diametral opponirten Quadranten des nächstfolgenden Segmentes übergehe. Wir erhalten alsdann für die Scheitelregion die Querschnittsansicht Fig. 280, in welcher die Blattanlagen in gleicher Weise bezeichnet sind, wie in dem vorhin besprochenen Fall. Die Stellungsverhältnisse der Blätter ergeben sich hieraus von selbst. Man hat:

$$\overbrace{O_2 + \frac{1}{4} U_3 + \frac{1}{2} O_4} \quad \overbrace{- \frac{1}{4} U_5 - \frac{1}{2} O_6} \quad \overbrace{+ \frac{1}{4} U_7 + \frac{1}{2} O_8} \quad \text{etc.}$$

oder wenn der Ausgangspunkt in U_3 verlegt wird:

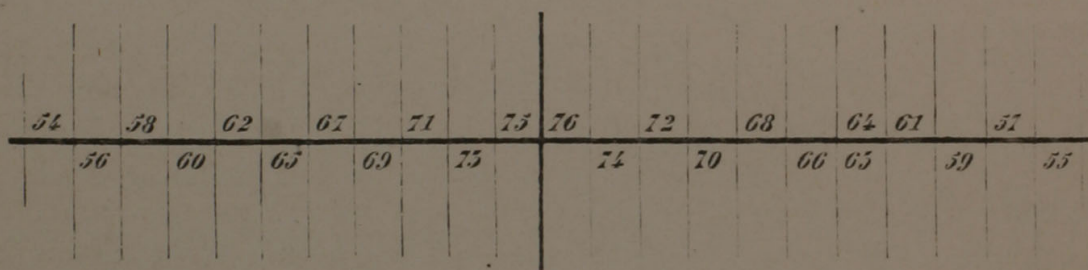
$$\overbrace{- \frac{1}{4} O_2 + \frac{1}{2} U_3 + \frac{1}{4} O_4} \quad \overbrace{- \frac{1}{2} U_5 - \frac{1}{4} O_6} \quad \overbrace{+ \frac{1}{2} U_7 + \frac{1}{4} O_8} \quad \text{etc.}$$

Das sind abermals Reihen, welche mit beobachteten Blattstellungen genau



Figur 284.

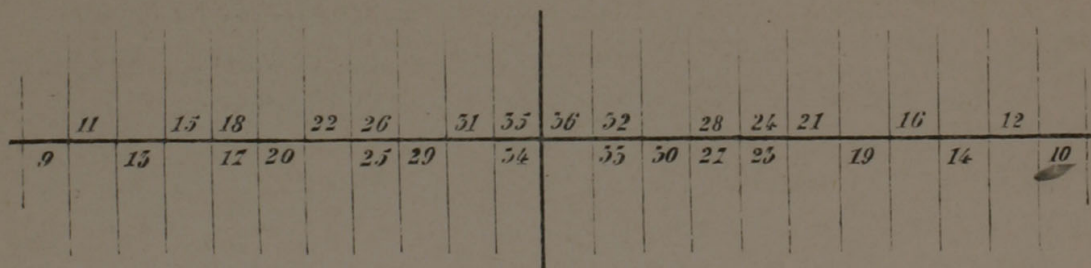
übereinstimmen. Aber damit sind die vorkommenden Verschiedenheiten in der Stellung isolirter Blätter noch nicht erschöpft. Wir haben in Fig. 281, *A* noch einen Fall wiedergegeben, der als eine Combination der beiden vorhergehenden betrachtet werden kann. Unsere Figur stellt die flachgelegte Oberfläche des Stengels mit den kleinern Oberblättern und den grössern Unterblättern dar. Die Randlinien entsprechen der Mitte der Stammunterseite. Die Blätter sind nach der Insertionshöhe numerirt und die Divergenzen annähernd naturgetreu aufgetragen. Bei *D* ist eine Gabelungsstelle. Diese Blattstellung wird durch nachstehendes Schema (Fig. 282) veranschaulicht, in welchem die Nummern der Oberblätter (wie oben in Fig. 279 und 280) oberhalb, diejenigen der Unterblätter unterhalb der Horizontalen figuriren und wo die senkrechten Linien die innern Segmentwände andeuten. Das Schema ist also nichts Anderes als eine Querschnittsansicht in vereinfachter Form.



Figur 282.

Die Blätter 63 und 64 entsprechen hier den beiden Quadranten des nämlichen Segments, von dem wir daher annehmen, es habe wirklich zwei Blätter hervorgebracht. Alles Uebrige ist wie in Fig. 279.

Aehnlichen Unregelmässigkeiten begegnen wir auch in Fig. 281, *B* welche in gleicher Weise die an zwei andern Stämmchen beobachtete Blattstellung veranschaulichen soll. Die Erklärung liegt in der schematisirten Querschnittsansicht Fig. 283, wo die Blätter 17 und 18, dann 23 bis 28,



Figur 283.

endlich 32 bis 35 (sowie ferner die in unserm Schema nicht mehr enthaltenen Nummern 45 und 46) zu je zweien auf die betreffenden Segmente vertheilt sind, während die übrigen auch hier wieder, wie in Fig. 279, einer gleichen Zahl von Segmenten entsprechen, indem immer nur der eine der beiden Quadranten eine Blattanlage erzeugt. Die mechanische

Regel der Blattstellung bleibt in allen Fällen dieselbe. So oft z. B. ein Segment zwei Blätter hervorbringt, steht das nächstfolgende Blatt in dem diametral opponirten Quadranten des folgenden Segments. — Zur Vergleichung sind in *C* und *D* (Fig. 281) noch die Blattstellungen der Fig. 279 und 280 in gleicher Darstellung beigelegt worden.

Die thatsächlich vorkommenden Stellungsverhältnisse sind hienach sämtlich zurückführbar auf regelmässige Theilungsvorgänge in den Segmenten, allerdings unter der Voraussetzung, dass die durch eine bogenförmige Wand abgeschnittenen Segmentstücke bald nur in dem einen, bald in den beiden Quadranten Blattanlagen erzeugen. In letzterer Beziehung muss übrigens bemerkt werden, dass alle Fälle, in denen bei *Selaginella* die Blätter, statt paarweise, einzeln stehen, durch die Annahme erklärt werden können, es bilden alle Segmente übereinstimmend entweder nur eine oder aber zwei Blattanlagen. Dann haben wir es jedoch nicht mehr mit blossen Auflösungen zu thun, sondern wir müssen Verschiebungen voraussetzen, bei denen häufig ein tieferes Blatt über ein höher gelegenes hinaufrückt, eine Erscheinung, die bei verhältnissmässig dicken Stengeln und schmalen Blattanlagen als Abnormität ganz sicher an Kryptogamen und Phanerogamen vorkommt, für die dünnen Stengel von *Selaginella* aber vielleicht weniger wahrscheinlich ist.

605 Von dem Stadium, in welchem die seitlichen Organe als Höcker sichtbar sind, bis zur vollständigen Ausbildung derselben können ebenfalls noch Stellungsänderungen vor sich gehen und zwar

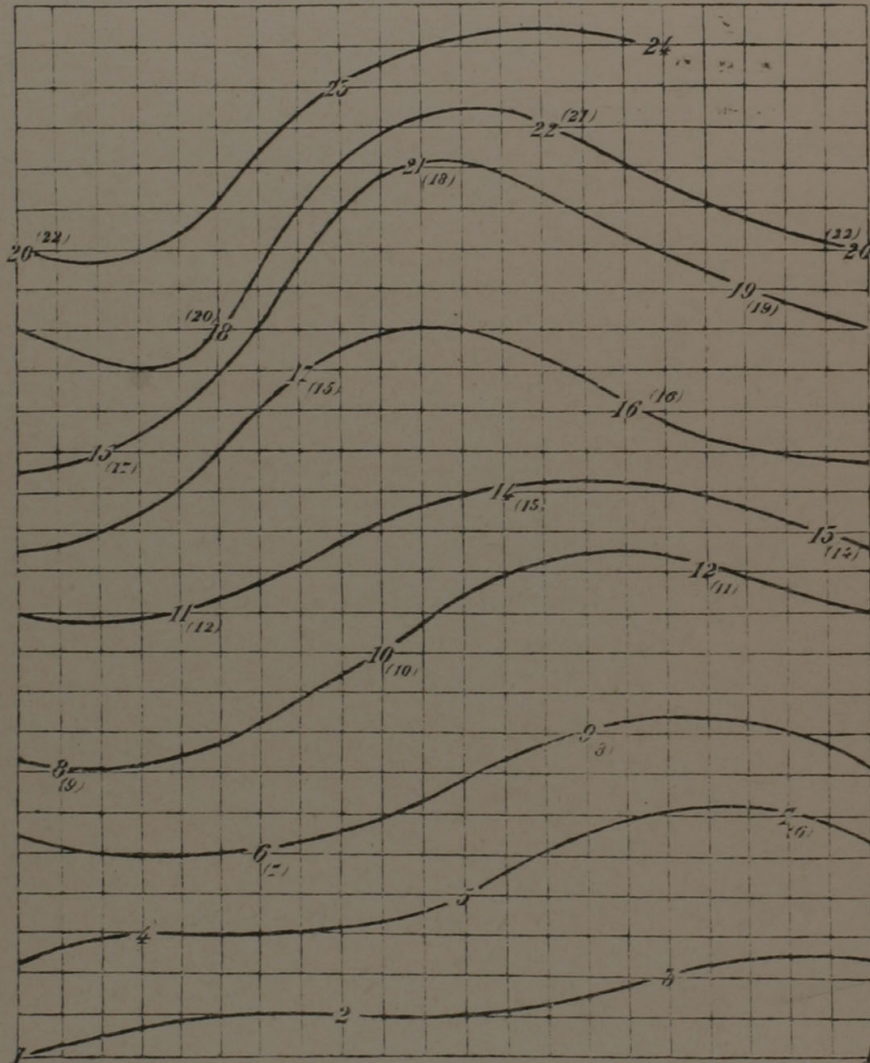
a) durch ungleiches Auseinanderweichen in der Längsrichtung, sei es, dass die einen Internodien sich stärker entwickeln als die andern, was ungleiche verticale Abstände der Blätter und Zweige zur Folge hat, oder dass die seitlichen Organe theilweise mit dem Mutterorgan verwachsen und dadurch höher zu stehen kommen als andere, die neben oder über ihnen angelegt werden, wodurch eine unregelmässige Aufeinanderfolge der Blätter und Zweige zu Stande kommt;

b) durch ungleiches Auseinanderweichen in der Querrichtung, indem entweder die eine Seite des Mutterorgans sich stärker entwickelt, so dass die seitlichen Organe auf der gegenüber liegenden Seite zusammengedrängt erscheinen, oder indem das Mutterorgan sich dreht und dadurch Veränderungen in den Divergenzen hervorruft, wobei die letztern bald grösser und bald kleiner werden.

Durch die Verschiebung der seitlichen Organe in der Längsrichtung entstehen zuweilen scheinbar regellose Stellungen, die aber bei näherer Betrachtung auf die gewöhnlichen Spiralstellungen zurückführbar sind. So verhält es sich z. B. bei der von Sachs*) dargestellten *Fritillaria imperialis*, für welche wir in Fig. 284 die zugehörige Spirale mit Diver-

*) Lehrb. d. Bot. 3. Aufl. p. 177.

genzen von $\frac{8}{21}$ construiert haben. Wie man sieht, ist dieselbe dergestalt wellig verbogen, dass die Numerirung nach der Höhe, die wir nach Sachs wiedergegeben haben, mit der Reihenfolge auf der Spirale, welche durch eingeklammerte Ziffern angedeutet ist, nicht übereinstimmt. Dagegen steht jedes Blatt nach wie vor auf der ihm bei regelmässiger Stellung zukommenden Verticale. Solche Verschiebungen kommen bei *Fritillaria* oft bloss ausnahmsweise an einem oder an wenigen Blättern, andere Male häufiger vor. In diesem letztern Falle ist der Stamm gewöhnlich dicker als sonst,



Figur 284.

und je grösser der Unterschied, desto unregelmässiger die Stellung. Wird der Stamm oval, so stellen sich weiter gehende Störungen ein: die Blätter fügen sich nicht mehr in die Spirale. Diese Störungen erreichen natürlich bei wirklicher Fasciation einen noch höhern Grad. Aehnliche Abweichungen kommen in mannigfacher Abstufung auch bei *Hieracium* vor. Ob dieselben schon in den frühesten Stadien bemerkbar sind, kann in jedem gegebenen Falle nur durch die Entwicklungsgeschichte ermittelt werden.

606 . Noch ist bezüglich der Stellungsverhältnisse seitlicher Organe ein wichtiger Punkt ins Auge zu fassen, der nämlich, dass sehr häufig ein grösserer oder kleinerer Basaltheil eines seitlichen Organs mit dem Mutterorgan verwachsen bleibt und eine sehr wesentliche Partie desselben constituirt. So besteht z. B. im Stamme von *Equisetum*, *Struthiopteris* und vieler anderer Pflanzen der grösste Theil des Gewebes aus verwachsenen Blattbasen.

Verzweigt sich nun ein solches Organ schon am Grunde, so gewährt diess den Anschein, als ob das Mutterorgan ebensoviele selbständige seitliche trage als Verzweigungen vorhanden sind. Auf diese Weise erklärt sich z. B., dass viele Stipulae scheinbar nicht am Grunde des Blattes, sondern am Stengel befestigt sind. Dieser Umstand kann indess nur dann möglicherweise irre führen, wenn die seitlichen Verzweigungen des Tochterorgans sich ganz so ausbilden, wie der mittlere Theil desselben, was bei den Nebenblättern in der Regel nicht der Fall ist. Eine Ausnahme macht *Galium* und die verwandten Gattungen.

Von besonderer Wichtigkeit sind die hier angeregten Punkte bei Untersuchungen über den Bau der Blüthen, wo nicht selten durch Verzweigung oder Spaltung eine Verdoppelung oder Vervielfachung gewisser Blätter eintreten scheint, welche bald einer Stipularbildung wie bei *Galium*, bald auch der wirklichen Bildung von Foliolis ihr Dasein verdanken mag.*)

Die wahren Verhältnisse sind zuweilen in den frühesten sichtbaren Zuständen, wo die seitlichen Organe eben als kleine Höcker zum Vorschein kommen, noch deutlich erkennbar; zuweilen erheben sich aber schon diese Höcker, obschon sie zum Theil als seitliche Bildungen anderer zu betrachten sind, scheinbar selbständig über die Stengeloberfläche. Der Beobachter ist in solchen Fällen, sofern es ihm nicht gelingt, die Anlegung der Organe weiter zurück zu verfolgen, auf morphologische Erwägungen angewiesen, deren Erörterung jedoch nicht in unserer Aufgabe liegt.

4. Ursachen der Stellung seitlicher Organe.

607 Die Erscheinungen, welche ein organisches Gebilde überhaupt darbietet, lassen sich auf drei verschiedene Kategorien von Ursachen zurückführen: auf morphologische, deren Wesen wir nicht kennen, auf physiologische, welche auf bestimmten Ernährungsfunktionen beruhen, und auf mechanische, welche nach Richtung und relativer Grösse bekannt und somit für mathematische Folgerungen verwerthbar sind. Wenn wir die Stellung der seitlichen Organe von diesen Gesichtspunkten aus betrachten, so ist zunächst die ursprüngliche Anordnung und die spätere Veränderung derselben auseinander zu halten. Soweit die ursprüngliche An-

*) Vgl. A. W. Eichler, Ueber d. Blütenbau der Fumariaceen etc. in Flora 1865.

ordnung mit der Segmentbildung in der Scheitelzelle zusammenhängt (Blätter der Moose und Filicineen), ist eine Ableitung derselben aus mechanischen und physiologischen Ursachen noch unmöglich; wir sind also auf die rein morphologische Betrachtung angewiesen. Wenn dagegen die Anlagen ohne Beziehung zur Scheitelzelle seitlich am Mutterorgan auftreten, so ist eine physiologische Erklärung der Stellungsverhältnisse möglich. Man kann annehmen, dass auf bestimmten Puncten der Oberfläche eine vermehrte Säftezufuhr stattfindet und daselbst Neubildungen veranlasse. Diese Annahme lässt sich unter bestimmten Voraussetzungen mechanisch verwerthen. Stellen wir uns vor, der Säftezufluss concentrirte sich aus unbekannten Gründen auf getrennte Puncte der Oberfläche, in der Art, dass für jedes Organ ein bestimmtes Areal vorgezeichnet ist; nehmen wir ferner an, die Bildung der neuen Anlagen schreite nach einer Richtung hin fort, und endlich, dass ihre Areale sich gegenseitig berühren, sämmtlich gleiche Grösse besitzen oder dieselbe allmählig ändern: so ist die mechanische Folge nur bei einem bestimmten Verhältniss der Areale zum Umfang des Mutterorgans eine regelmässige, meist aber eine unregelmässige Anordnung. Als Resultat dieser Betrachtung ergibt sich also, dass die ursprüngliche Anordnung der Anlagen, soweit sie von den bezeichneten physiologischen und mechanischen Ursachen abhängt, im Allgemeinen eine unregelmässige sein muss. Um die beobachtete Regelmässigkeit in der Stellung der jüngsten Blattanlagen, besonders in der Blütenregion, zu erklären, ist noch die weitere Annahme nöthig, dass stellenweise schon ursprünglich Verschiebungen der Areale, sowie kleine Veränderungen ihrer Grösse stattgefunden haben, für welche noch andere, nicht bekannte Ursachen in Anspruch zu nehmen sind. Es dürften wohl die nämlichen sein, welche auch später ähnliche Wirkungen hervorrufen.

Was zweitens die Veränderungen betrifft, welche die ursprüngliche 608 Anordnung durch die spätern Wachsthumsvorgänge erfährt, so beschränken wir uns hier auf die Fälle, wo die seitlichen Organe sich unmittelbar berühren und durch ihren gegenseitigen Druck auf einander wirken. Ein solcher Druck hat bei annähernd gleicher Grösse der Organe immer denselben Effect: er mildert die vorhandenen Unregelmässigkeiten und hebt dieselben, sofern er lange genug andauert, vollständig auf. Selbst regellos gestellte Organe ordnen sich in Folge dieser Verschiebungen in augenfällige Reihen; Spiral- und Quirlstellungen, welche ursprünglich mancherlei Abweichungen zeigten, erhalten das Gepräge geometrischer Regelmässigkeit.

Ist der Druckeffect nach verschiedenen Richtungen ungleich, sei es in Folge der Formveränderungen der Organe oder wegen des grössern Widerstandes, den das Mutterorgan in der Längs- oder Querrichtung dem Ausdehnungsbestreben der seitlichen Organe entgegensetzt, so erfolgt die Verschiebung in einem bestimmten Sinne und erreicht dann nicht selten

einen solchen Grad, dass die ursprünglichen Schrägzeilen, in denen die Organe sich direct berühren, nicht bloss ihre Neigungen ändern, sondern aufhören, Contactlinien zu sein, d. h. die Organe rücken auf den ursprünglichen Schrägzeilen auseinander und berühren sich fortan in andern Richtungen. Eine Spiralstellung, welche beispielsweise 8 rechtsschiefe und 5 linksschiefe sich rechtwinklig kreuzende Parastichen aufweist, in denen die Organe sich berühren, kann durch solche Verschiebungen so modificirt werden, dass sie nachher statt 5 linksschiefen Zeilen deren 13 zeigt, die wiederum nahezu rechtwinklig auf den 8^{er} Zeilen stehen. Durch eine weitere Verschiebung im gleichen Sinne würden die 21^{er} Zeilen an die Stelle der 8^{er} treten, u. s. f. Man kann überhaupt ganz allgemein zeigen, dass die Spiralstellungen einer beliebigen Reihe durch einen in der Längs- oder Querrichtung wirksamen Druck so verändert werden, dass die Ordnungszahlen der successiv hervortretenden Schrägzeilen eben dieser Reihe angehören. — Die nämlichen Stellungsänderungen finden schon in der Scheitelregion statt, wenn die Grösse der Organe allmählig abnimmt. *)

Fassen wir die Ergebnisse der vorstehenden Erörterungen zusammen, so gelangen wir zu dem Schlusse, dass bei der Anlegung seitlicher Organe morphologische Ursachen, die sich unserer Einsicht noch entziehen, betheilig sind; dass dann aber mechanische Ursachen hinzutreten, welche die ursprüngliche Anordnung nachweisbar in sehr erheblicher Weise verändern.

5. Systeme gleichnamiger Organe.

609 Der vierte Punct endlich, der bei der Bildung seitlicher Organe von Bedeutung ist, betrifft die Ausbildung gleichnamiger Organe zu verschiedenen architectonischen Systemen, d. h. das Zustandekommen jener vielgestaltigen, aus Strahlen verschiedener Ordnungen bestehenden Gerüste, wie wir sie beispielsweise in den Blütenständen der höhern Pflanzen und in den zierlich verzweigten Thallomen der Florideen vor uns sehen. Es handelt sich hier, nachdem das Verhältniss der Tochterorgane zu einander und zum Mutterorgan im Vorhergehenden besprochen worden, einzig und allein um das Entwicklungsvermögen der verschiedenen Organe und um die vorkommenden Verzweigungsgrade. Diese beiden Factoren in einem gegebenen Falle festzustellen, ist die Aufgabe der Untersuchung.

Ehe wir auf die thatsächlichen Verhältnisse, wie sie der Pflanzenstock darbietet, näher eingehen, mögen ein paar schematische Darstellungen die Verschiedenheiten andeuten, welche der Beobachter vorzugsweise ins Auge

*) Vgl. Schwendener: Ueber die Verschiebungen seitlicher Organe durch ihren gegenseitigen Druck; ferner: Ueber die Stellungsänderungen seitlicher Organe in Folge der allmählichen Abnahme ihrer Querschnittsgrösse [Verhandlungen d. naturf. Gesellschaft in Basel, VI, 2 (1875)].

zu fassen hat. Es sei Fig. 283⁵ ein System gleichnamiger Organe, wie sie im vollkommen ausgebildeten Zustande sich darstellen. Ein solches System lässt sich nun in sehr verschiedener Weise aufgebaut denken, wie man aus folgenden drei Fällen, welche noch keineswegs alle Möglichkeiten erschöpfen, entnehmen wird.

a) Die Mittellinie entspricht dem Mutterorgane (Fig. 285 A), die rechts und links davon abgehenden (2) sind gleichnamige seitliche Organe, ähnlich wie die Blätter am Stamme. Das Mutterorgan besitzt hier das grösste Entwicklungsvermögen; die seitlichen Organe hören dagegen früh auf zu wachsen und verzweigen sich nicht.

b) Die Mittellinie wird von Strahlen verschiedener Ordnungen (1, 2...14, Fig. 285 B) gebildet, indem der obere Theil eines jeden Strahls von dem zugehörigen Tochterstrahl auf die Seite geschoben wird (Sympodium). Der eine verzweigt sich, der andere nicht, und so geht es fort, so lange das Organ wächst.

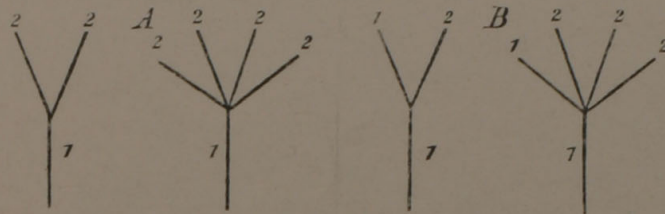


Figur 285.

c) Die Mittellinie besteht ebenfalls aus Strahlen verschiedener Ordnungen; aber jeder dieser Strahlen erzeugt 4 seitliche, von denen je der oberste den Aufbau weiter führt (Fig. 285 C).

Ein zweiter Fall ist in Fig. 286 dargestellt: ein einfaches Organ geht nach oben in zwei oder in mehrere über, welche doldenförmig gestellt sind. Hier müssen zwei verschiedene Arten des Aufbaues unterschieden werden,

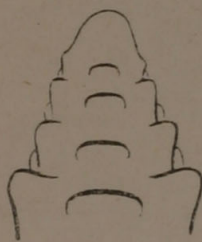
deren Charakteristik in den Figuren *A* und *B* durch die den Doldenzweigen beigeordneten Ordnungszahlen gegeben ist. In *A* geht das Mutterorgan nur bis zur Verzweigungsstelle; die Aeste sind sämtlich Strahlen zweiter Ordnung. In *B* dagegen setzt sich das Mutterorgan über die Verzweigungsstelle hinaus fort und bildet einen Doldenstrahl.



Figur 286.

Je complicirter das fertige System, um so grösser ist natürlich auch die Zahl der denkbaren Combinationen successiver Strahlen. Man begreift, dass nur ein Zurückgehen auf die ersten Anlagen neuer Organe es möglich macht, die Entstehungsfolge der verschiedenen Elemente des Systems mit Sicherheit festzustellen. Es ist nöthig, die Verzweigungsstellen in dem Stadium zu beobachten, wo man noch deutlich sieht, welches der beiden Organe das Mutterorgan ist. Nur ausnahmsweise lässt sich die Frage auch nach andern Anhaltspunkten, bei höhern Pflanzen z. B. nach der Stellung der Blätter und Knospen unterscheiden.

610 Ein weiteres Beispiel mag veranschaulichen, wie umgekehrt zwei Systeme, die in der Anlage vollständig übereinstimmen, durch die spätere Entwicklung einen durchaus verschiedenen Habitus erhalten. Die beiden Systeme bestehen aus einem primären Strahl mit quirlständigen oder spirali-



Figur 287.

gen secundären Strahlen (Fig. 287). Diese letztern besitzen bei dem einen ein sehr begrenztes Entwicklungsvermögen; sie bleiben kurz und unverzweigt, während der Hauptstrahl sich beträchtlich verlängert. Bei dem andern ist das Verhältniss umgekehrt: der Hauptstrahl hört auf zu wachsen, sobald die seitlichen Organe angelegt sind, während die letztern sich in die Länge strecken und möglicherweise selbst wieder Verästelungen bilden. Auf diese Weise erhält das erste System das Aussehen einer

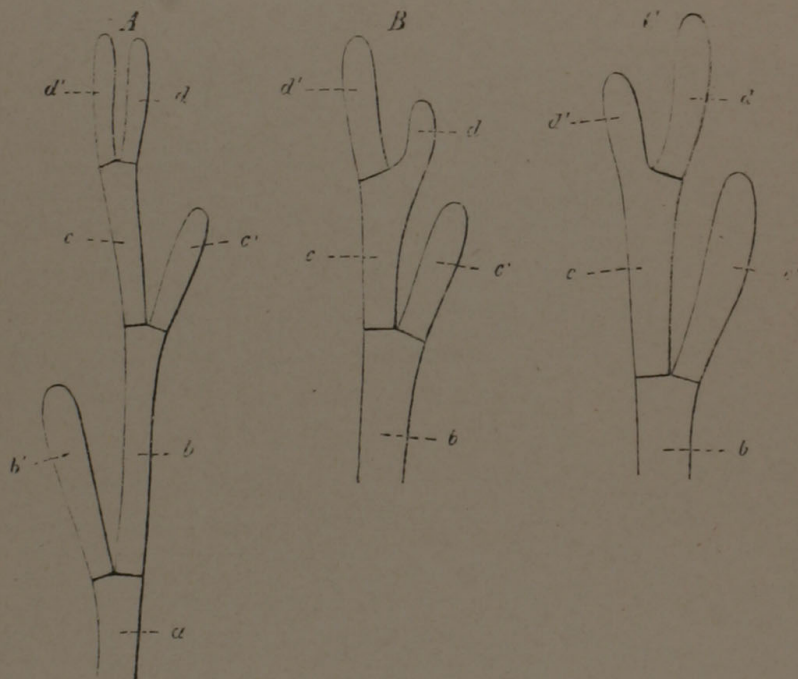
Aehre, das zweite dasjenige einer Dolde.

Diese Betrachtungen zeigen deutlich genug, dass Anlage und spätere Ausbildung eines Organcomplexes für die Entwicklungsgeschichte zwei Momente sind, die man nicht mit einander verwechseln darf. Verschiedenheiten, die sich mit Rücksicht auf das eine ergeben, dürfen demnach bei der Combination mit den Kategorien, welche das andere liefert, diesen letztern nicht coordinirt, [sie müssen vielmehr übergeordnet oder untergeordnet werden.

611 . Beschäftigen wir uns jetzt nach dieser vorläufigen Orientirung etwas

genauer mit der Frage, wie die Art der Anlegung seitlicher Organe, d. h. deren Entwicklungsfolge, sich durch Beobachtung jugendlicher Stadien ermitteln lasse. Diese Aufgabe ist keineswegs immer so leicht, wie sie vielleicht Manchem auf den ersten Blick erscheinen mag. Es gelingt im Gegentheil oft nur nach langem, mühsamem Suchen zu entscheiden, ob der primäre Strahl nach stattgefundener Verzweigung sich unbegrenzt weiter entwickle und immer neue seitliche Organe erzeuge, oder ob umgekehrt diese vorwiegende Entwicklungsfähigkeit dem secundären Strahl oder doch bestimmten secundären Strahlen zukomme, das Mutterorgan also im Wachstum zurückbleibe.

Diese Schwierigkeit tritt uns z. B. bei dem in Fig. 288 A dargestellten Thallusende von *Callithamnion* entgegen. Der Aufbau kann hier so stattgefunden haben, dass *abcd* die successiven Gliederzellen des primären Strahls bilden, an welchen nach einander die alternirenden Zweige *b'*, *c'* und *d'* aufgetreten sind. Er lässt sich aber ebenso gut auch so denken, dass *ab'* als primärer Strahl, *bc'* als secundärer, *cd'* als tertiärer, endlich *d* als quartärer Strahl aufzufassen, das Ganze also als Sympodium zu deuten



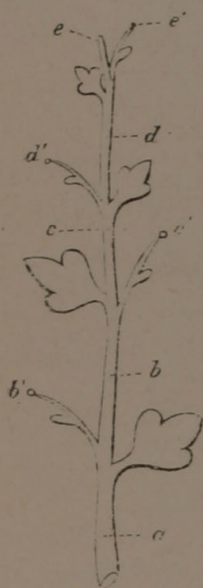
Figur 288.

wäre. Findet man dagegen Thallusenden, in welchen das genetische Verhältniss der Endzellen *dd'* klar ausgesprochen ist, etwa so wie in Fig. 288 B, so ist die eine der beiden Möglichkeiten abgeschnitten; denn da die kurzen Strahlen *b'c'* und die vorhergehenden regelmässig alterniren, so muss *d'* ebenfalls kurz bleiben, d. h. das Mutterorgan bleibt in der Entwicklung stehen, während das Tochterorgan *d* den Aufbau weiter führt. Mit derselben Sicherheit lässt sich aus dem umgekehrten Verhältniss (Fig. 288 C). —

ceteris paribus — der Schluss ziehen, dass die Glieder *abcd* dem nämlichen Strahl angehören, der Aufbau also ein monopodialer sei.

- 612 Dass die nämlichen Anhaltspunkte auch dann noch genügen, wenn die Stellung der kurzen Strahlen eine spiralige oder quirlige ist, leuchtet ohne Weiteres ein. Man begreift auch, dass es keineswegs nöthig ist, das Scheitelwachsthum der Organe Zelle für Zelle zu kennen, wie in dem angeführten Beispiel, dass es ja nur darauf ankommt, nach der letzten Verzweigung in der Scheitelregion das Mutterorgan von dem neu gebildeten seitlichen zu unterscheiden. Alle im Vorhergehenden gezogenen Schlüsse gelten daher auch für die höhern Pflanzen; ja die Phanerogamen bieten sogar in mancher Beziehung geringere Schwierigkeiten als die Zellenpflanzen, da die Blattstellungsverhältnisse hier neue und wichtige 'Anhaltspunkte' liefern. Wir wollen an einigen Beispielen zeigen, wie sich diese Verhältnisse verwerthen lassen, zugleich aber auch darthun, wie sie, für sich allein betrachtet, unter Umständen auch irre leiten können.

Eine Pflanze mit regelmässig alternirenden Blättern (Fig. 289) zeigt an den Knoten Axenorgane, z. B. Blüthenstiele oder Ranken, welche den Blättern opponirt stehen. Eine solche Pflanze kann, wenn das Wachsthum normal stattfindet, nur ein Sympodium sein; denn da regelmässig gestellte Axenorgane stets blattwinkelständig sind, so müssen die successiven Internodien *a, b, c, d* als Basilarstücke von Axillarzweigen gedeutet werden, welche je vom nächst untern Knoten ausgehen. Der primäre Spross schliesst also mit *b'*, der secundäre mit *c'* ab, u. s. f. Allein es sind anormale Verhältnisse denkbar, welche die Sache verwickeln. Die Axillarzweige können bis zum nächstfolgenden Knoten mit dem Stamm verwachsen, resp. während der Entwicklung in die Höhe gehoben werden. Unter dieser Voraussetzung wäre unsere Figur offenbar als Monopodium aufzufassen; *c'* wäre der Axillarspross des untersten, *d'* der des zweiten Blattes u. s. f.

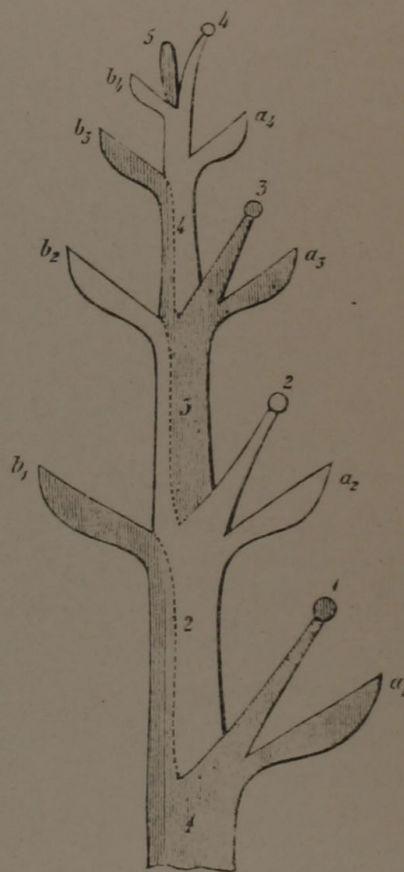


Figur 289.

Da ähnliche Verwachsungen in der Natur wirklich vorkommen, so erhellt hieraus, dass die Stellungsverhältnisse allein die Entwicklungsweise der Axenorgane nicht immer verrathen. Kommen auch in manchen Fällen, namentlich wenn die Sprossenden *b' c'* etc. beblättert sind, noch weitere Kennzeichen hinzu, welche die Wahrscheinlichkeit eines monopodialen oder sympodialen Aufbaues oft fast bis zur Gewissheit steigern, so ist doch eine vollständige Gewissheit nur durch das Studium der Entwicklungsgeschichte erreichbar. Es handelt sich auch hier, wie bei *Callithamnion*, vor Allem um die Frage, welcher von den beiden Endsprossen *e* und *e'* der relativ primäre sei; dadurch erst erhalten die spätern Stadien und die Stellungsverhältnisse im entwickelten Zustande ihre wahre Bedeutung.

Ein zweites Beispiel ist in Fig. 290 dargestellt. Wenn man von der Blattstellung absieht, die hier der Einfachheit wegen zweizeilig angenommen ist, so entspricht dieses Schema ziemlich genau manchen Pflanzen aus der Familie der Solaneen. Nah dem untern Theil der Figur zu schliessen, bildet das ganze ein Monopodium mit annähernd opponirten Blättern, wovon das eine einen Axillarspross trägt. Ein Blick auf die Stammspitze zeigt aber sogleich, dass der Aufbau in Wirklichkeit ein sympodialer ist, weil der mit 5 bezeichnete Strahl sich unzweifelhaft als Axillarknospe erweist. Indem diese Axillarknospe sich vorwiegend entwickelt, drängt sie den Strahl 4 so auf die Seite, dass derselbe später in der Achsel des Blattes a_4 , in derselben Reihe mit 1, 2, 3 zu stehen scheint. Da ferner b_3 und a_4 ein Blattpaar darstellen, so muss das folgende Blattpaar aus dem Tragblatt b_4 und dem ersten Blatt seines Axillarzweiges (a_5) gebildet werden. Diess ist aber nur unter der Voraussetzung möglich, dass das Blatt b_4 durch das spätere intercalare Wachsthum in die Höhe gehoben wird oder, wie man sich gewöhnlich auszudrücken pflegt, mit dem Spross 5 verwächst, während a_4 und b_3 ihre gegenseitige Lage beibehalten.

Hienach geschieht also das Wachsthum des Pflanzenstockes bei diesen Pflanzen in folgender Weise. Der primäre Spross 1 entwickelt zwei Blätter a_1 und b_1 , das letztere mit einer entwicklungsfähigen Axillarknospe, dem secundären Strahl 2. Dieser verhält sich wie der primäre: er trägt zwei Blätter a_2 und b_2 , wovon das obere den Trieb 3 mit den beiden Blättern a_3 und b_3 erzeugt, u. s. f. In der Figur sind die auf einander folgenden Triebe des leichtern Verständnisses wegen sammt den zugehörigen Blättern abwechselnd dunkel und hell gehalten. — Mit dieser Entwicklung stimmt denn auch die wirkliche Blattstellung am Sympodium überein. Die beiden mit a und b bezeichneten Blätter der successiven Sprosse stehen nämlich um c. 165° , also nicht viel weniger als die Hälfte des Kreisumfanges von einander ab, und gehören abwechselnd einer rechts- und links-läufigen Spirale an. Die beiden in gleicher Höhe stehenden Blätter (a_2 und b_1 , a_3 und b_2 etc.) zeigen dagegen nur eine Divergenz von 100° .

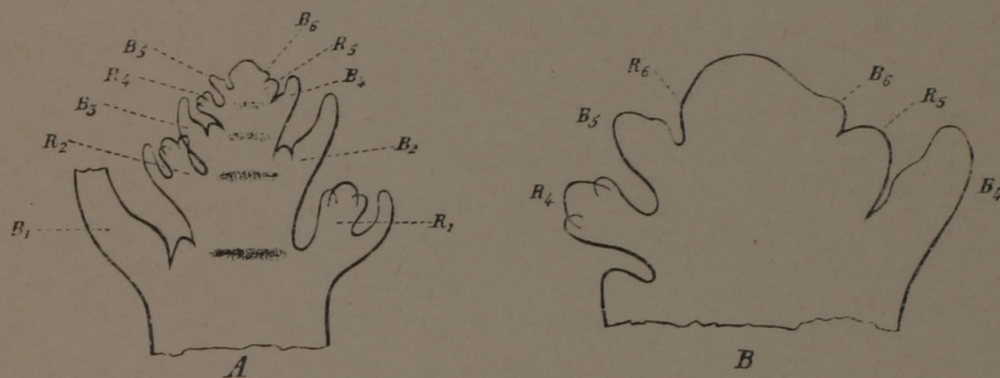


Figur 290.

Als drittes Beispiel eines eigenthümlichen, oft unrichtig gedeuteten Wachstums wollen wir noch die wilde Rebe und die Weinrebe anführen.

Gewöhnlich betrachtet man dieselben als Sympodien, an welchen die Ranken die Enden der auf einander folgenden Sprosse darstellen. Diese Auffassung steht indess mit dem Verhalten der Stengelspitzen (Fig. 291, das obere Ende in *B* stärker vergrössert) in augenfälligem Widerspruch. Verfolgt man nämlich die zusammengehörigen, in nahezu gleicher Höhe opponirten Blätter und Ranken $B_1 R_1$, $B_2 R_2$ etc. von unten nach oben, so ergibt sich schon aus den Form- und Stellungsverhältnissen des Blattes B_5 und der entsprechenden Ranke R_5 , dass die letztere nicht wohl als Scheitel des Sprosses gedeutet werden kann, an welchem das Blatt B_5 eingefügt ist. Noch weniger wäre eine solche Deutung mit Rücksicht auf die Blattanlage B_6 und die kaum angedeutete Rankenanlage R_6 gerechtfertigt; denn diese Anlagen sehen in jeder Beziehung gerade so aus, wie man sie bei Pflanzen, die entschieden keine Sympodien sind, beobachtet.

Die entwicklungsgeschichtlichen Thatsachen führen also zu dem Schluss, dass die Rebe als ein gewöhnliches Monopodium mit alternirenden Blättern und blattwinkelständigen Knospen in Fig. 291 *A* bei B_1 bis B_5



Figur 291.

durch kleine Höcker angedeutet) zu betrachten ist, in dessen Scheitelregion jedoch ausnahmsweise auch ausserhalb der Blattachsen regelmässig gestellte Axenorgane, die sich später zu Ranken ausbilden, angelegt werden. Man sieht auch, dass diese Rankenanlagen schon ursprünglich den Blättern opponirt stehen, und wenn man eine Reihe von Stammspitzen untersucht, so ergibt sich ferner, dass dieselben durchgehends etwas später auftreten, als das zugehörige Blatt. In all diesen Punkten verhalten sich die zahme und die wilde Rebe, wie es scheint, vollkommen gleich.

615 Was nun noch die beblätterten Kryptogamen betrifft, so geben die morphologischen Verhältnisse im entwickelten Zustande hier noch weniger Aufschluss, als bei den Phanerogamen. Die neuen Sprosse entstehen nämlich nicht in den Blattwinkeln, sondern bald am Vegetationskegel des Stengels über den sichtbaren Blattanlagen, entweder durch wirkliche Dichotomie oder durch gewöhnliche Verzweigung eines Hauptstrahls, bald aber auch unterhalb der jüngsten Blattanlagen und dann immer an Stellen,

welche zu den Blatinserctionen in bestimmter Beziehung stehen. Im erstern Fall handelt es sich bei der Untersuchung znnächst darum, eine ächte Gabelung von einer bloss scheinbaren zu unterscheiden. Erst wenn es feststeht, dass die Verästlungen in der Regel unterhalb der Scheitelzelle angelegt werden, kann bei regelmässiger Stellung derselben die relative Entwicklungsfähigkeit der Mutter- und Tochterstrahlen und damit die Wachstumsweise der Pflanzen bestimmt werden. Sind dagegen die beiden Strahlen gleichwerthig, wie bei der ächten Gabelung, so kann bloss noch in Frage kommen, ob sich dieselben auch gleichmässig entwickeln, und wenn nicht, wie die in der Entwicklung zurückbleibenden Strahlen am Stamme gestellt sind. Von diesem letztern Punkte war indessen schon oben die Rede.

Die Unterscheidung der ächten Dichotomie von der unächtten ist nun aber bei Organen, deren Scheitelwachsthum nicht genauer bekannt ist, eine schwierige Sache, ja streng genommen geradezu unmöglich. Man findet bei *Lycopodium* und *Selaginella* Stammspitzen mit einem in zwei vollkommen gleiche Höcker getheilten Punctum vegetationis und andere, bei denen der junge Spross etwas unterhalb der eigentlichen Spitze angelegt und in Folge dessen stärker gegen die Längsaxe geneigt erscheint. Dessenungeachtet scheinen die Verästlungen, so weit wenigstens die Stellungsverhältnisse darüber Aufschluss geben, vollkommen gleichwerthig zu sein. Die scheinbare oder wirkliche Gabelung kommt übrigens nur bei Kryptogamen häufiger vor; bei Phanerogamen ist sie selten und unseres Wissens bis jetzt nur an Wurzeln beobachtet.

Die Gesichtspuncte, welche beim Aufbau der Organsysteme in Betracht 616 kommen, lassen sich folgendermaassen zusammenfassen.

1) System einfach oder combinirt. Während manche Systeme gleichnamiger Organe als ein Ganzes erscheinen, an welchem eine Gliederung in mehr oder minder abgegrenzte Theile nicht zur Geltung kommt, und welche daher als einfache zu bezeichnen sind, treten bei andern bestimmte Strahlencomplexe als ausgeprägte Einheiten hervor, welche sofort in die Augen fallen: es sind das combinirte Systeme, Systemverbindungen. So erscheint z. B. der Blütenstand von *Sambucus* als ein einfaches System, derjenige von *Petasites* als Systemverbindung, indem das Köpfchen das besondere, die Rispe das allgemeine System bildet.

Bei der Unterscheidung einfacher Systeme von Systemverbindungen sind folgende Momente zu erwägen. Die Strahlen der letzten Ordnung werden in jedem Theil des Ganzen zusammen mit dem Mutterstrahl — auch wenn sie von diesem noch so sehr abweichen — als einfaches System betrachtet, da der einzelne Strahl für sich allein nie als System angesehen wird. So gilt z. B. das Köpfchen der Compositen als einfaches System. Abgesehen von dieser Beschränkung lassen sich die beiden Begriffe folgen-

dermaassen unterscheiden. Ein System ist einfach, wenn die Seitenstrahlen als die Wiederholung oder Verzweigung des Hauptstrahls erscheinen; es ist dagegen combinirt, wenn die Theile sich morphologisch oder physiologisch wesentlich anders verhalten als das Ganze. Scharfe Grenzen zwischen den beiden Begriffen lassen sich indess nicht ziehen, indem in einzelnen Fällen ein gegebenes System mit gleichem Recht als ein verzweigtes einfaches, oder als ein combinirtes bezeichnet werden kann.

Combinirte Formen finden wir beispielsweise bei den Gramineen, wo nicht bloss bei rispiger, sondern auch bei ährenförmiger Anordnung der Aehrchen ein combinirtes System anzunehmen ist, weil die Aehrchen schon durch das Vorhandensein der Spelzen sich als besondere Einheiten darstellen. Dass die Aehre der Gräser keine verzweigte einfache Aehre, sondern ein combinirtes System ist, geht auch aus dem Verhalten derjenigen Formen hervor, bei denen die verzweigte Aehre wirklich vorkommt, wie z. B. bei *Triticum turgidum* var. *compositum* oder als Abnormität bei *Lolium perenne*. Dagegen kann es zweifelhaft erscheinen, ob die Aehre von *Hordeum* und *Elymus* aus zwei oder aus drei Systemen bestehe, nämlich aus einer verzweigten Aehre und Aehrchen, oder aber aus einer einfachen Aehre, dreistrahligen Knäueln und Aehrchen.

Die Laubblattregion bildet bald für sich allein ein System, bald nimmt sie Antheil an der Combination der Systeme in der Blütenregion.

2) Ordnungen und Rangstufen der Strahlen. Die Strahlen eines Systems gehören je nach ihrer Abstammung ungleichen Ordnungen an. Abgesehen hievon stellen sie, sofern sie ungleichwerthig sind, verschiedene Rangstufen dar (s. p. 594). Demgemäss sind die Systeme einstufig (Caulomgerüste von *Helleborus*, Blätter von *Cicuta*), zweistufig (Caulomgerüste von *Hepatica*, *Helianthus*, Blätter von *Lathyrus*), dreistufig (Caulomgerüste von *Vicia*), vierstufig (Caulomgerüste von *Trifolium montanum*), etc.

3) Anordnung gleichwerthiger Strahlen am gemeinsamen Mutterstrahl. Wenn ein Hauptstrahl Seitenstrahlen von ungleicher Natur (Rangstufe) hervorbringt, so sind dieselben entweder unter einander gemengt, oder sie sind räumlich geschieden in der Art, dass unten die einen, weiter oben die andern auftreten. Sie stellen also zwei Systeme dar, die im einen Falle einander durchdringen, im andern sich bloss an einander ansetzen. Wir wollen die erstere Art des Aufbaues als miktocladisch (gemischtstufig), die letztere als choristocladisch (getrenntstufig) bezeichnen. Miktocladisch ist z. B. die Verzweigung von *Pinus*, wo bekanntlich Kurz- und Langtriebe und ebenso, wie bei den andern Coniferen, Blüthenzweiglein und vegetative Triebe mit einander wechseln. Dasselbe beobachtet man auch bei *Glycyrrhiza* und andern Papilionaceen, während sonst bei den Phanerogamen der choristocladische Bau vorherrscht. Beispiele von choristocladischer, wie von miktocladischer Verzweigung finden

sich auch bei Blättern. Die Florideen sind häufig miktocladisch, ebenso manche andere Algen.

4) Verzweigungsfähigkeit der Strahlen gleicher Ordnung eines Systems. Es giebt Systeme, in welchen alle Strahlen einer Ordnung entweder unverzweigt oder ungefähr gleich stark verzweigt sind, so z. B. bei den traubigen Blütenständen, in der Aehre von *Hordeum*, in den Inflorescenzen der Palmen, bei den gefiederten und mehrfach gefiederten Blättern. In andern Systemen dagegen nimmt die Verzweigungsfähigkeit der Strahlen bald von unten nach oben, bald von der Mitte nach beiden Seiten hin ab, so bei den verschiedenen rispigen Verzweigungen.

5) Verzweigungsfähigkeit der Strahlen successiver Ordnungen eines Systems. Bei den regelmässig gebauten Dichasien bilden die Strahlen der successiven Ordnungen je zwei Zweige, beim Wickel je einen Zweig; die Verzweigungsfähigkeit bleibt also durch eine Reihe von Generationen die nämliche. Bei der Rispe dagegen tragen die Strahlen der auf einander folgenden Ordnungen eine immer kleinere Zahl von Seitenstrahlen. Auch bei der zusammengesetzten Dolde sind die Dolde gewöhnlich strahlenreicher als die Döldchen. — Man kann die bezeichneten Unterschiede auch so formuliren: die Verzweigungsfähigkeit des Seitenstrahls ist im ersten Falle grösser, im zweiten Falle gleich oder geringer als diejenige des Mutterstrahls oberhalb der Insertionsstelle.

6) Länge der Strahlen gleicher Ordnung eines Systems. Gleiche Länge finden wir bei ährigen, traubigen, doldigen Systemen, bei gefiederten und handförmigen Blättern etc., ungleiche Länge bei der Doldentraube, der Rispe, dem Ebenstrauss, bei den vielfach zusammengesetzten Blättern etc.

7) Länge der Strahlen successiver Ordnungen eines Systems. Wenn die Strahlen der aufeinander folgenden Ordnungen gleiche Länge erreichen, so überragt jeder folgende den vorhergehenden: das System ist übergipflig, so beim Wickel und Dichasium. Das Uebergipfeln kommt ferner vor bei der Spirre, den doppelt gefiederten Blättern etc. Wenn dagegen die Strahlen der successiven Ordnungen an Länge abnehmen, so gestaltet sich das System im Allgemeinen so, dass die Seitentheile niedriger sind als die Mitte (untergipflig), in einem besondern Falle der Art, dass alle Strahlen in gleicher Höhe endigen (gleichgipflig).

8) Monopodiale und sympodiale Systeme. Sympodiale Verzweigungen (vgl. oben) findet man bei dem Wickel und bei dem ähnlich gebauten Laubstamm der Solaneen u. a., monopodiale Systeme bei der grossen Mehrzahl der Pflanzen.

9) Geschlossene und ungeschlossene Strahlen. Beim Aufbau der Blütenstände kommt auch die Frage in Betracht, ob jeder Strahl mit einer Blüthe endige oder nicht. Bei den geschlossenen Systemen geht der primäre Strahl, sowie alle übrigen, in eine Blüthe aus; bei den unge-

geschlossenen dagegen endigen nur die Seitenstrahlen in Blüten. indess der primäre Strahl (Spindel) sein Längenwachsthum mit einer sterilen Spitze abschliesst. Mit Rücksicht auf dieses Moment ist das Verhalten mancher Pflanzenfamilie ein sehr constantes, während in andern Fällen bei der nämlichen Pflanze Schwankungen stattfinden.*)

40) Stellungsverhältnisse der Strahlen. Die Stellungsverhältnisse der Strahlen gleicher Ordnung, sowie derjenigen successiver Ordnungen modificiren bloss den Habitus, nicht das Wesen der Inflorescenzen. So kann z. B. die Traube zweizeilig, spiralig oder quirlig gestellte Seitenstrahlen besitzen. Am deutlichsten tritt der Einfluss der Stellungsverhältnisse bei den sympodialen Systemen hervor, wo derselbe die Schraubel-, Wickel-, Fächer- und Sichelform bedingt.

617 Die verschiedenen Strahlensysteme sind mit Rücksicht auf alle im Vorhergehenden aufgeführten Momente durch zahlreiche Uebergangsformen verbunden. Um sich in diesem Chaos zurecht zu finden, ist es am zweckmässigsten, von den extremen oder typischen Formen auszugehen und die übrigen dazwischen einzureihen. Solcher Typen sind im Ganzen drei, nämlich:

A. Racemöse Systeme.

Zweierlei Strahlen: Hauptstrahl ungeschlossen, Seitenstrahlen meist in Mehrzahl, unverzweigt.

Beispiele: Aehre der Plantagineen, Traube der Cruciferen, Köpfchen der Compositen, Dolden der Umbelliferen (etwas weniger typisch). — Die Aehren, Trauben und Dolden mit Endblüthe bilden eine Abweichung, welche schon gegen das paniculöse System hinneigt.

B. Paniculöse Systeme.

Einerlei Strahlen mit wiederholter Verzweigung, sämmtlich geschlossen; Strahlen der ersten Ordnungen in Mehrzahl, an Länge und Verzweigungsfähigkeit mit steigender Ordnungszahl abnehmend.

Beispiele: Rispe von *Alisma* *Plantago*, *Clematis*; Rispe der Gräser und Compositen, wo Blütenstände die Stelle der Einzel-

* Wir stellen das hier besprochene Merkmal durchaus nicht voran, sondern halten es beispielsweise für naturgemäss, traubige oder ährige Blütenstände mit und ohne Endblüthe zu unterscheiden. Wir wollen hier überhaupt bloss den Werth betonen, den das Fehlen oder Vorhandensein von Endblüthen in vielen Fällen unzweifelhaft besitzt. Hofmeister geht offenbar zu weit, wenn er Verschiedenheiten des Aufbaues, welche bei einzelnen Pflanzen ohne Bedeutung sein mögen, desshalb auch für alle übrigen als bedeutungslos hinstellt. Denn es ist ja eine nothwendige Folge der gemeinsamen Abstammung, dass jedes, auch das wichtigste und constanteste Merkmal, irgendwo noch schwankend und veränderlich ist.

blüthen einnehmen. Strauss von *Syringa*. — Die Doldenrispe (*Sambucus*), welche in ihren letzten Auszweigungen Monochasien bildet, ist als Uebergangsform zum cicinnösen Typus zu betrachten.

C. Cicinnöse Systeme.

Einerlei Strahlen mit wiederholter Verzweigung, sämmtlich geschlossen; jeder nur einen Seitenstrahl bildend, welcher den Mutterstrahl überragt.

Beispiele: Die sympodial ausgebildeten Systeme, namentlich der Wickel der Boragineen und *Tradescantien*, sowie die Schraubel. — Abweichungen nach dem paniculösen Typus hin bilden die Dichasien der *Sileneen*, die Pleiochasien von *Sedum*, *Euphorbia* etc. Da hier jeder Strahl zwei oder mehrere gleiche Seitenstrahlen erzeugt, so ist der Aufbau ein monopodialer.

Sowohl typisch cicinnöse, als mehr oder minder abweichende Systeme findet man auch bei den Systemverbindungen, z. B. bei den Compositen (Schraubel von *Cichorium*, Wickel der *Vernoniaceen* etc.).

Die Systemverbindungen, sie mögen aus zwei oder mehr Systemen bestehen, zeigen in jedem System die typische oder Uebergangsbildung der einfachen Systeme. Die Schwierigkeit der Gruppierung wird aber namentlich durch den Umstand vermehrt, dass sie auch Uebergänge zu den einfachen Systemen bilden, so dass in einzelnen Fällen es fast gleichgültig erscheint, ob man eine Verzweigung als ein oder zwei, als zwei oder drei etc. verschiedene Systeme betrachte. Die natürliche Anordnung, vorzüglich mit Hülfe mikroskopischer Untersuchung der Entwicklungsgeschichte, ist erst dann erreicht, wenn diejenigen Formen, welche nach systematischer Verwandtschaft zusammen gehören, auch morphologisch neben einander zu stehen kommen.

V.

Entwicklung der Fortpflanzungszellen.

Die allgemeinen Gesichtspuncte, nach welchen die vegetativen Wachsthumerscheinungen in den vorhergehenden Capiteln erörtert wurden, sind auch hier als die leitenden zu betrachten. Denn auch die Bildung der Fortpflanzungszellen ist ein Entwicklungsprocess, welcher wie jeder andere auf bestimmten Theilungen oder Neubildungen von Zellen oder auf Differenzirungen im Gewebe beruht. — allerdings verbunden mit der spätern

Trennung der Zellen oder Zellcomplexe, die jedoch in vegetativen Geweben ebenfalls vorkommt; seine ganze Eigenthümlichkeit liegt streng genommen nur in der physiologischen Bedeutung der Zellen. In Berücksichtigung der grössern Mannigfaltigkeit, welche die Fortpflanzungserscheinungen darbieten, und der Constanz der darauf bezüglichen morphologischen Verhältnisse erscheint es aber nichtsdestoweniger gerechtfertigt, denselben nachträglich eine besondere Betrachtung zu widmen.

1. Bildungsweise der Fortpflanzungszellen.

620 Zunächst handelt es sich um das Verhältniss der Fortpflanzungszellen zu den erzeugenden, d. h. um die Art der Zellbildung, welcher dieselben ihren Ursprung verdanken. Man kann in dieser Beziehung folgende Fälle unterscheiden:

Die Fortpflanzungszelle entsteht

a) Unmittelbar durch Metamorphose einer vegetativen Zelle. Sie verdankt somit ihre Entstehung keinem besondern reproductiven Zellbildungsprocess. So bei der Sporenbildung der Nostochaceen (*Rivularia*, *Cylindrospermum* etc.).

b) Durch Vollzellbildung. Dieselbe besteht darin, dass der Plasmaschlauch einer vegetativen (d. h. durch vegetative Zelltheilung entstandenen) Zelle sich mit einer neuen Membran umhüllt, wobei er entweder sich bloss zuvor contrahirt oder auch durch eine auf verschiedene Weise gebildete Oeffnung die ursprüngliche Zelle verlässt. Hierher gehört z. B. die Bildung der Schwärmsporen bei *Oedogonium*.

c) Durch besondere Zelltheilung, auf welche Vollzellbildung folgt oder welche Uebergänge zur Vollzellbildung und freien Zellbildung darstellt. So bei der Sporenentwicklung der Mucorinen, der Zoosporenbildung der Saprolegnien und Peronosporaceen, ferner bei der Entwicklung der Schwärmsporen von *Pediastrum* und andern Palmellaceen, desgleichen bei *Ulothrix*, *Ulva* etc.



Figur 292. (1000)

Eine besondere Form hieher gehöriger Zellbildungen ist die, dass der aus Plasma bestehende Wandbeleg der Mutterzelle durch Theilung in kleine Portionen zerfällt, wovon jede zur besondern Zelle wird. In der Mutterzelle bil-

det sich somit eine wandständige Schicht von Tochterzellen. Diess ist der Fall bei *Endococcus* Näg. und wahrscheinlich auch bei *Hydrodictyon*. Von ersterer Gattung sind in Fig. 292 drei verschiedene Stadien der Theilung dargestellt.

d) Durch typische Theilung. Kommt vor bei den Diatomeen, Palmellaceen, Desmidiaceen.

e) Durch Ausstülpung und Abschnürung (Sprossung). Die Abschnürung findet bald nur an einem Puncte der Mutterzelle statt und dann entweder nur einmal oder mehrere Male nacheinander (sucedane Abschnürung), bald aber auch an mehreren Puncten und dann gleichzeitig (simultane Abschnürung) oder ungleichzeitig. Simultane Abschnürung beobachtet man z. B. an den Basidien sämtlicher Hymenomyceten und Gastromyceten, sowie bei manchen andern Pilzgruppen, succedane Abschnürung in verschiedener Form bei manchen Hyphomyceten (Sporenköpfchen bei *Botrytis Bassiana* u. a., einfache Sporenketten bei *Cystopus*, ästige Sporenketten bei *Periconia* u. a.).*)

d) Durch freie Zellbildung, wobei sich innerhalb des Primordialschlauches kugelförmige Plasmapartieen individualisiren, von denen sich später jede zu einer Zelle ausbildet. Der Inhalt wird immer nur theilweise zur Anlage verwendet; der Rest bleibt in der Mutterzelle und wird später entweder resorbiert oder stirbt mit der Mutterzelle ab. Die Entwicklung der Tochterzellen innerhalb eines Ascus geschieht bald simultan, wie bei den Flechten und der Mehrzahl der Ascomyceten, bald succedan, wie bei manchen Tuberaceen und im Embryosack der Phanerogamen, dabei in constanter oder in veränderlicher Zahl.

f) Durch Copulation zweier gleichwerthiger Zellen. Die sich copulirenden Zellen gehören bald dem nämlichen Individuum, bald zwei verschiedenen Individuen an; überdiess ist die Art und Weise, wie die Copulation stattfindet, hinsichtlich der Form des Verbindungskanales, der Lage der Zygosporie u. dgl. sehr verschieden. Es ist ferner darauf zu achten, ob der Inhalt der beiden Zellen ganz oder nur theilweise zur Bildung der Spore verwendet wird.

g) Durch Copulation ungleichwerthiger Zellen, wobei die letztern bald isolirt auftreten, bald nur die Enden besonderer Aeste bilden.

h) Durch Befruchtung einer grossen weiblichen durch eine kleine männliche Zelle (Spermatozoon). Dieser Vorgang findet statt bei der Oosporenbildung der Algen und bei der Befruchtung der Moose und der Gefässkryptogamen.

Bei den Phanerogamen würde sich nach der gewöhnlichen Annahme die Befruchtung durch Diffusion eines gelösten Stoffes vollziehen. Da indessen die Vererbung von Eigenschaften sowohl im Pflanzen- als im Thierreich sonst überall an die Aufnahme von geformtem Plasma geknüpft ist und durch keine noch so reichliche Ernährung mittelst Lösungen erzielt werden kann, so bleibt es immer noch eine Aufgabe der Forschung, den Uebertritt von Plasma in die Keimbläschen der Phanerogamen nachzuweisen. Die am untern Ende des Pollenschlauches vorkommenden Poren entsprechen vielleicht den Stellen, wo der fragliche Uebertritt stattfindet.

*) Vgl. De Bary in Hofmeister's Handbuch der physiol. Bot. II, p. 411 u. ff.
Nägeli u. Schwendener, Das Mikroskop. 2. Aufl.

In allen Fällen, die Fortpflanzungszellen mögen nun dieser oder jener Art der Zellbildung ihre Entstehung verdanken, sind auch die einleitenden Prozesse in der Mutterzelle von Wichtigkeit. Dahin gehören z. B. die Bildung eines neuen secundären Kerns neben dem primären oder nach Resorption des letztern die Bildung von Kernen für die Tochterzellen, Veränderungen in der Beschaffenheit und Anlagerung des Inhaltes u. s. w.

2. Lage der keimbildenden Zellen.

621 Eine zweite Frage, welche bei allen mehrzelligen Pflanzen sich aufdrängt, betrifft das räumliche oder morphologische Verhältniss der reproductiven Zellen zum Organ, auf dem sie entstehen. Behalten wir die oben gewählte Eintheilung der Organe in Zellreihen, Zellflächen und Zellkörper bei, so sind mit Rücksicht auf diese Frage folgende Fälle zu unterscheiden.

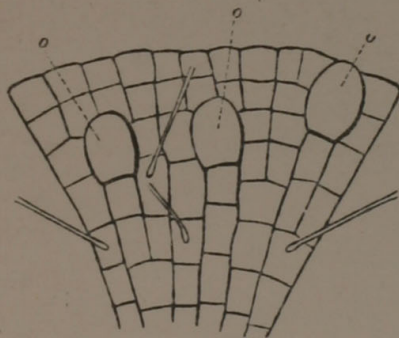
a) Zellreihen. Die keimbildenden Zellen sind hier entweder Endzellen oder Gliederzellen. Sie nehmen im letztern Falle, sofern die Glieder ungleichwerthig sind, bald eine bestimmte, morphologisch definirbare Stelle ein, bald entwickeln sie sich ohne nachweisbare Gesetzmässigkeit aus den verschiedensten Zellen.

Beispiele für diese Entwicklungstypen liefern die endständigen Sporen mancher Hyphomyceten, die Mutterzellen der Schwärmsporen bei *Cladophora*, *Ulothrix* u. a., die aus Gliederzellen entstandenen Oogonien und Antheridien der Oedogonien, die Brutzellen mancher Pilze, welche durch Zerfallen isolirter Fäden in ihre einzelnen Zellen entstehen, u. s. w.

b) Zellflächen. Die keimbildenden Zellen sind entweder Flächenzellen oder Randzellen mit gesetzmässiger oder regelloser Anordnung, einzeln oder zu mehreren beisammen.

Beispiele: Die Schwärmsporen-Mutterzellen bei *Ulva*, die Oogonien und Antheridien-bildenden Zellen bei *Coleochaete* u. a.

Ob eine reproductive Zelle als Randzelle oder als Flächenzelle zu deuten sei, muss in schwierigern Fällen nach jugendlichen Zuständen, wo die Keime noch als Anlagen vorhanden sind, entschieden werden, da spätere Stadien leicht zu irrigen Schlüssen führen. So oft nämlich eine Randzelle



Figur 293. (100)

zur Fortpflanzungszelle wird, hört natürlich die Betheiligung derselben am peripherischen Wachsthum der Zellfläche auf. Die nebenan liegenden Zellreihen wachsen in Folge dessen darüber hinaus und schliessen sich ausserhalb derselben wieder zusammen, so dass die ursprüngliche Randzelle scheinbar zur Flächenzelle wird. Diess ist z. B. bei *Coleochaete scutata* und andern Arten dieser Gattung der Fall, von denen Prings-

heim angiebt, dass sich beliebige Flächenzellen zu Oogonien ausbilden, während jugendliche Zustände (Fig. 293) beweisen, dass es ursprünglich Randzellen sind. In unserer Figur erscheinen die drei jungen Oogonien (*o*) noch deutlich als Endzellen von radialen Reihen, von denen jedoch eine einzige (rechts) die Peripherie erreicht, indess die beiden andern im Wachstum zurückgeblieben, d. h. von den benachbarten umschlossen sind. *)

c) Zellkörper. Die keimbildenden Zellen entstehen entweder an der Oberfläche oder im Innern des Gewebes, von einer oder mehrern Zellschichten bedeckt, ferner einzeln oder zu mehrern beisammen in verschiedener Anordnung, bald nach Art der vegetativen Gewebe durch Differenzierung bestimmter Zellpartieen, bald auf einem besondern Keimboden, welcher die verschiedensten Formen (eben, convex, concav etc.) annehmen kann.

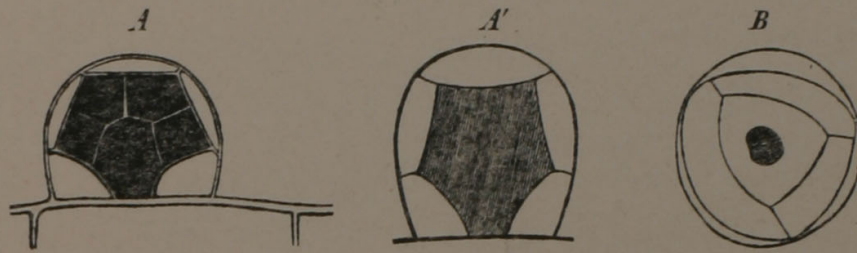
Die Hauptpunkte, auf welche der Beobachter sein Augenmerk zu richten hat, sind in diesen Worten kurz angedeutet; allein bei der grossen Verschiedenartigkeit der hieher gehörigen Fälle erheischen dieselben eine etwas weitere Ausführung.

Die Frage, ob die reproductiven Zellen oberflächliche Bildungen seien, oder ob sie im Innern des Gewebes entstehen, kann oft nur durch entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen entschieden werden, da hierüber das anatomische Verhalten des fertigen Zustandes nur in den leichtern Fällen Aufschluss giebt. Als Beispiel sei hier nur die Fruchtschicht der fucusartigen Algen erwähnt. Dieselbe befindet sich, ähnlich wie bei den Pyrenomyceten und angiocarpen Flechten in einem Receptaculum, welches mit einer kleinen Oeffnung (Porus, Ostiolum) nach aussen mündet; sie scheint also, nach diesem fertigen Zustande zu urtheilen, im Innern der Fruchstäbe entstanden zu sein. Allein die Entwicklungsgeschichte lehrt das Gegentheil: die Zellen der Fruchtschicht sprossen aus der Oberfläche hervor, welche letztere sich an dieser Stelle in der angegebenen Weise einstülpt. Die Fruchtschicht der Pyrenomyceten und Flechten dagegen wird im Innern des Thallus angelegt und die Bildung des nach aussen mündenden Porus beruht auf dem Auseinanderweichen der peripherischen Zellen im Verlaufe des Wachstums.

Eine Frage verwandter Natur ist bei kleinen reproductiven Organen (Antheridien, Sporangien u. dgl.) die, ob das ganze Gewebe sich in reproductive Zellen umwandle, oder ob eine oberflächliche, epidermisähnliche

*) Obige Darstellung und Zeichnung rührt von einer im Jahr 1846 angestellten Untersuchung eines Original Exemplars von *Coleochaete scutata* Bréb. aus Falaise und wurde im folgenden Jahr bestätigt an Pflanzen aus der Umgebung von Zürich; an den letzteren war oft das reife Oogonium noch deutlich als Randzelle (Endzelle einer radialen Reihe) zu erkennen. Diess stimmt auch genau mit dem Verhalten von *C. soluta*, und muss so lange als Regel festgehalten werden, bis durch die Entwicklungsgeschichte der andere Fall wirklich nachgewiesen wird, dass das Oogonium bei der Gattung *Coleochaete* auch entweder unmittelbar aus einer Flächenzelle (Gliederzelle einer radialen Reihe) entsteht oder von derselben als seitliche Bildung hervorgebracht wird.

Zellschicht vorhanden sei, welche später von den Fortpflanzungszellen durchbrochen wird. Auch in diesem Punkte können, wie aus den widersprechenden Ansichten neuerer Autoren hervorgeht, Täuschungen leicht vorkommen. Den Antheridien der Polypodiaceen wurde z. B. von manchen Autoren eine einfache Membran zugeschrieben, während sie entschieden eine aus einer Zellschicht bestehende Umhüllung besitzen. Aber allerdings sind die wenigen Zellen dieser Hülle bei ältern Antheridien meist so abgeplattet, dass sie in der That wie eine einfache Membran aussehen. — In Fig. 294 ist ein solches Farrenantheridium abgebildet; *A* und *A'* sind



Figur 294.

Seitenansichten jugendlicher Zustände, *B* stellt ein entleertes Antheridium von oben gesehen dar.

Die Anordnung der reproductiven Zellen ist in der Regel, wenn man von den complicirten Stellungsverhältnissen (Spiralen u. dgl.) absieht, sowohl bei oberflächlicher Lage, als bei der Vertheilung derselben im Gewebe unschwer zu ermitteln. Es handelt sich hier zunächst darum, zu entscheiden, ob dieselben einzeln über die Oberfläche oder im Gewebe zerstreut, oder aber in Gruppen, Zonen oder zu grössern Gewebepartien vereinigt sind. Einzeln und oberflächlich stehen z. B. die Sporenmutterszellen gewisser Formen von Dictyota, in Gruppen vereinigt die Antheridien der nämlichen Pflanzen und vieler andern, desgleichen die Sporen bei einer grossen Zahl von Florideen und Fucoideen; einzeln im Innern die Eizellen der Archegonien, der Embryosack der Phanerogamen etc.; zu viere im Innern die Makrosporen der Selaginellen; zu vielen im Innern die Sporen und Spermatozoen Mutterzellen der Moose und Lebermoose, die Pollenkörner u. s. w.

In zweiter Linie ist zu untersuchen, ob die reproductiven Zellen allein oder in Begleitung von vegetativen (Paraphysen, Paranemata, Schleudern) auftreten, welcher letztere Fall bekanntlich sowohl bei Land- als Wasserpflanzen häufig vorkommt.

Die speziellen Stellungsverhältnisse, d. h. die genaue räumliche Anordnung der keimbildenden Zellen, spiralige Stellungen u. dgl. übergehen wir hier, da in diesem Betreff die nämlichen Fragen in Betracht kommen, wie bei den vegetativen Wachstumsprocessen.

Was nun noch den letzten Punkt anbelangt, die Frage nämlich, ob die

reproductiven Zellen aus einem besondern Keimboden hervorsprossen oder wenigstens anatomisch mit einem solchen zusammenhängen, so mögen bei einfach gebauten Pflanzen einzelne Fälle vorkommen, wo mit Rücksicht hierauf, bei vollständiger Kenntniss der thatsächlichen Verhältnisse, verschiedene Auffassungen möglich sind. Die Mehrzahl der Fortpflanzungsorgane gehört jedoch entschieden in die eine oder in die andere Kategorie. Ohne Keimboden ist z. B. das reproductive Gewebe der Antheren, der Sporangien und Antheridien bei Farren, Moosen etc.; einen ausgeprägten Keimboden besitzen dagegen die reproductiven Organe der Flechten, Hymenomyceten und Pyrenomyceten, die Cystocarprien der Florideen, die Conceptacula der Fucaceen, die Antheridien der Charen etc.

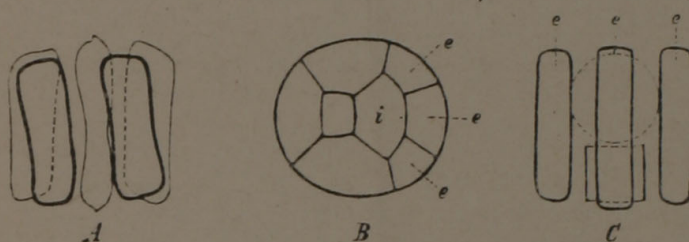
Bei oberflächlicher Lage der keimbildenden Zellen stellt gewissermaassen das entsprechende Stück Oberfläche den Keimboden dar; hier kommt es indess vorzugsweise darauf an, ob der Keimbildung bestimmte Theilungsprocesse vorausgehen oder nicht.

3. Ursprung und Entwicklungsfolge der keimbildenden Zellen.

Soll die Entwicklungsgeschichte reproductiver Zellcomplexe zu einem befriedigenden Abschluss gebracht werden, so ist es nothwendig, dieselbe bis zu einem Anfangsstadium zu verfolgen, wo die fraglichen Bildungsprocesse sich unmittelbar an die bekannten vegetativen Wachsthumsvorgänge anschliessen. Besteht z. B. das reproductive Gewebe, wie es bei Zellkörpern häufig der Fall ist, aus vielen neben und übereinander liegenden Zellen, so fragt es sich, ob diese vielen Zellen aus einer einzigen ursprünglichen Zelle, oder aus einer einfachen Zellschicht, oder aus einer körperlichen Gruppe von Zellen hervorgehen. Für alle diese Fälle giebt es in der Natur Beispiele genug. Aus einer einzigen Zelle entstehen z. B. die Sporen in den Sporangien der Farren, der Equiseten, Selaginellen u. a., die Keimhäufchen der Callithamnien etc.; aus einer Zellreihe die Pollenmutterzellen in manchen Antheren, aus einer Zellfläche die Sporen nebst Schleudern bei *Frullania* (nach Hofmeister), aus einer hohleylindrischen Zellschicht die Sporen der Laubmoose, aus einer körperlichen Zellgruppe endlich die Pollenmutterzellen gewisser Pflanzen.

Ist dagegen im ausgebildeten Zustande eine einzige oder eine geringe Zahl von Fortpflanzungszellen vorhanden, so ist die Möglichkeit ins Auge zu fassen, dass die junge Anlage deren mehrere oder viele besitzt, von denen sich aber nur eine oder wenige entwickeln, indess die übrigen resorbirt werden. Diess ist z. B. bei den Makrosporen der Pilularien der Fall. Das junge Sporangium enthält eine grössere Zahl von Sporen in tetraedrischen Gruppen. Von diesen Gruppen verschwinden in der Folge alle bis auf eine, und von dieser entwickelt sich eine einzige Zelle zur Makrospore.

Ein anderer Gesichtspunct betrifft die Frage, ob alle Zellen, die einen einheitlichen Ursprung haben, sofern sie nicht durch Resorption verschwinden, zur Bildung von Fortpflanzungszellen verwendet werden, oder ob ein Theil derselben anderweitige Umbildungen erfahre. Im letztern Falle ist weiter zu untersuchen, welche Zellen die eine und welche die andere Verwendung erhalten. Zur Erläuterung dieser Frage erwähnen wir beispielsweise die Sporenbildung bei *Polysiphonia*, wo eine der peripherischen (die Centralzelle umgebenden) Zellen sich zunächst in 2 oder 3 äussere Zellen und eine innere Zelle theilt, von denen die letztere in eine untere und eine obere Zelle zerfällt. Die obere ist die Sporenmutterzelle. In Fig. 293 ist diese Theilung dargestellt: *A* ist ein gewöhnliches vegetatives Glied mit einer centralen und 4 peripherischen Zellen in der Längsansicht; *B* ein reproductives Glied im Querschnitt mit der Sporenmutterzelle *i* und 3 äussern Theilzellen *e*; *C* stellt den Complex der 3 äussern und der beiden innern Zellen in der Längsansicht von aussen gesehen dar.



Figur 293.

Die Entwicklungsfolge der reproductiven Zellen betreffend, so ist zu untersuchen, ob die Ausbildung derselben in einer bestimmten Reihenfolge, z. B. von unten nach oben oder von oben nach unten etc. oder vielleicht simultan stattfindet. Als Beispiel sei erwähnt, dass die Schwärmsporenbildung bei *Ulothrix* in der Scheitelregion beginnt und nach unten hin fortschreitet, indess die Entwicklung der Antheridienzellen bei *Callithamnion* (*Dasythamnion*) u. a. sich umgekehrt von unten nach oben vollzieht. Sind die reproductiven Zellen zu einer Fruchtschicht (Hymenium) vereinigt, so kann das Wachsthum derselben ein vorwiegend peripherisches, oder ein vorwiegend intercalares oder ein durchweg gleichmässiges sein.

4. Veränderungen benachbarter Zellen und Zellcomplexe.

623 Die Entwicklung der keimbildenden Zellen ist in vielen Fällen mit Veränderungen in den angrenzenden vegetativen Zellen und Zellcomplexen verbunden, welche der Beobachter mit zu berücksichtigen hat. Dahin gehören z. B. die Modificationen des Inhaltes oder der Membran, wie man sie hin und wieder an den Gehäusen der Flechtenapothecien beobachtet, ferner

die Resorption von Zellen und Zellschichten an der Innenseite der Antheren- und Sporangienwände und in der Umgehung des Embryosackes, namentlich aber die erhöhte Theilungs- und Entwicklungsfähigkeit der benachbarten Zellen. Zur nähern Erläuterung dieser letztern Erscheinung mögen folgende Beispiele dienen.

Bei *Nitophyllum* ist die Sporenmutterzelle eine Flächenzelle des einschichtigen Thalloms; die dieselbe umgebende Partie wird jedoch durch zweimalige Theilung dreischichtig. — In den *Antheren* zeichnet sich die innerste Schicht der Wandung, bevor sie resorbirt wird, durch eine eigenthümliche Theilungs- und Entwicklungsfähigkeit aus, indess andere Parteen des Gewebes spirallige Verdickungen erhalten. Aehnliche Metamorphosen beobachtet man auch bei allen Sporangien. — Bei manchen Flechten (*Parmelia*, *Sticta* etc.) entwickelt sich die das reproductive Gewebe umschliessende Rinde zu einer Scutella, deren Rand über die in die Höhe gehobene Fruchtschicht hinausragt; bei *Solorina* kommt sogar auf der Unterseite des Thallus an dem den Apothecien entsprechenden Stellen eine schön-parenchymatische Rinde zu Stande, welche dem vegetativen Thallom mangelt.

In andern Fällen erzeugen die vegetativen Zellen, welche den keimbildenden zunächst liegen, besondere Trichomgebilde (*Paraphysen* etc.), wie sie namentlich bei *Fucoideen* in der verschiedensten Anordnung vorkommen.

Wir haben uns im Vorhergehenden auf die Hervorhebung derjenigen Punkte beschränkt, welche sich auf das Verhältniss der Fortpflanzungszellen zu den erzeugenden, sowie ferner auf die Lage und die Entwicklungsweise der letztern und auf die Veränderungen benachbarter Zellen im reproductiven Organ beziehen. Eine erschöpfende Darstellung der Fortpflanzungserscheinungen würde nun weiter das Verhältniss des reproductiven Organs zur ganzen Pflanze zu berücksichtigen haben. Da indess die Fragen, welche hier in Betracht kommen, die nämlichen sind, wie bei den vegetativen Organen, so verweisen wir in diesem Betreff auf das früher Gesagte.

VI.

Gefässbündeluntersuchungen.

Die Art und Weise, wie die Gefässbündel des Blattes sich mit denen 624 des Stammes verbinden: ob sie vom Stamme in die Blätter hinauswachsen oder umgekehrt von diesen in jenen herein, und welche Regeln den Längsverlauf der entwickelten Blattspuren und die damit zusammenhängende

Beziehung zur Blattstellung beherrschen — das Alles ist in neuerer Zeit wiederholt Gegenstand der Untersuchung gewesen. Es scheint jedoch, dass manche Beobachter gerade bei diesen Untersuchungen (sowohl technisch als theoretisch) höchst unsichere Wege eingeschlagen haben, da die gewonnenen Resultate selbst in Puncten differiren, die bei richtiger Behandlung des Objects sich in directester Weise entscheiden lassen. Mit Rücksicht hierauf mag es daher nicht ganz überflüssig erscheinen, wenn wir den Gefässbündeluntersuchungen ein besonderes Capitel widmen.

Wie man schon aus den oben gestellten Fragen ersieht, handelt es sich bei diesen Untersuchungen um zwei wesentlich verschiedene Dinge, einmal um die Beschaffenheit des fertigen Gefässnetzes und zweitens um seine Entwicklungsgeschichte. Beide verlangen zuvörderst geeignete Präparate, welche die vorhandenen Bündel auf Quer- und Längsschnitten mit Sicherheit erkennen lassen. Manche Pflanzengewebe sind nun zwar von Natur so durchsichtig, dass man auf dünnern Durchschnitten jede einzelne Gefäss deutlich wahrnimmt; allein da es wichtig ist, zuweilen auch dickere Schnitte und selbst ganze oder halbirt Stammenden für die Untersuchung verwerthen zu können, so erscheint es selbst in diesem günstigsten Falle vortheilhaft, Reagentien zu gebrauchen, welche die Durchsichtigkeit der Präparate steigern. In vielen andern Fällen ist diess geradezu unerlässlich, da die Elementarorgane auch auf den dünnsten Durchschnitten nicht deutlich genug hervortreten. Die Ermittlung einer möglichst zweckmässigen Behandlung der Präparate muss alsdann jeder weitem Untersuchung vorausgehen. Ueber diesen Punct mögen desshalb auch hier zuallernächst einige Bemerkungen folgen.

1. Behandlung der Präparate.

625 Welche Reagentien auf die verschiedenen Gewebe am günstigsten einwirken, lässt sich natürlich nicht ein für allemal feststellen, da diese Wirkung, wie leicht einzusehen, wesentlich vom Inhalt der Zellen abhängt. Bei einer grossen Zahl von Pflanzen hat sich indess verdünnte Kalilösung als sehr geeignet erwiesen; sie kann als Universalmittel zur Behandlung der Präparate bezeichnet werden. Oft genügt es, einen Tropfen dieser Flüssigkeit dem Wasser, in welchem die Schnitte liegen, zuzusetzen und den günstigsten Augenblick der Einwirkung abzuwarten. In andern Fällen, namentlich wenn die Schnitte sehr dick sind, wie diess z. B. bei Stammenden, die man der Länge nach halbirt hat, immer der Fall ist, muss eine concentrirtere Lösung angewendet und das Präparat oft längere Zeit erhitzt werden, bis es hinreichend durchsichtig wird. Das Erhitzen geschieht immer am besten auf dem Objectträger selbst. Ist es nöthig, den Druck des Deckgläschens beim Verdampfen der Flüssigkeit zu vermeiden, so legt man Papierstreifen unter oder setzt von Zeit zu Zeit einen Tropfen neuer Lösung zu.

Ist das Gewebe bereits verholzt, so gelingt es bisweilen, die Spiralgefässgruppen durch Kochen in starker Salpetersäure, Auswaschen und nachherigen Zusatz von Kali deutlich zu machen. Die Säure muss in der Regel so lange einwirken, bis die Schnitte, die sich zunächst dunkler färben, vollständig farblos geworden sind. — Sind Harze, Oele etc. in den Zellen enthalten, so mag man es versuchen, diese Substanzen durch die entsprechenden Lösungsmittel auszuziehen und dann erst Kali zuzusetzen.

Die mit Kali behandelten Präparate behalten zuweilen nur kurze Zeit dieselbe Durchsichtigkeit und trüben sich hierauf wieder. Die Veränderung kann so rasch eintreten, dass es nicht möglich ist, eine grössere Zahl von Schnitten, die auf dem Objectträger liegen, im günstigen Stadium der Einwirkung zu beobachten und genau zu vergleichen. Unter solchen Umständen thut man am besten, die Schnitte der Reihenfolge nach einzeln in verdünnte Kalilösung zu bringen und die Anordnung der Gefässbündel, wo es nöthig ist, Schnitt für Schnitt zu skizziren.

2. Verlauf der Gefässbündel.

Die Methode betreffend, die man zur Feststellung des Gefäss- 626 bündelverlaufes einzuschlagen hat, so beschränken wir uns hier auf die Combination successiver Querschnitte und zusammengehöriger Längshälften; wo diese nicht zum Ziele führen, ist mit Maceriren oder Freipräpariren der Gefässbündel auch Nichts gewonnen. Die successiven Querschnitte müssen natürlich so dünn und so durchsichtig sein, dass sich die einzelnen Gefässbündel in jedem folgenden Schnitte wieder erkennen, folglich die vorkommenden Verschmelzungen oder Trennungen sich leicht verfolgen lassen. In den Knoten kann sogar ein Umwenden einzelner Schnitte nothwendig werden, um über die Veränderungen, welche von einer Schnittfläche zur andern stattfinden, ins Klare zu kommen. Zur raschen und sichern Verwerthung des Gesehenen für die Darstellung der räumlichen Veränderungen im Längsverlaufe der Bündel ist übrigens unter allen Umständen eine gewisse Uebung erforderlich, die man sich nach und nach erwerben muss; doch bringt es jeder Anfänger bald dahin, die Aufgabe für die leichtern dicotyledonen Pflanzen zu lösen.

Da die Stellung der Blätter als gegeben zu betrachten ist, so lässt sich auch ein allfällig spiraliger oder geschlängelter Verlauf aus der allmählichen Ab- und Zunahme der Winkelabstände bekannter Bündel bestimmen, wie denn überhaupt die Querschnitte für sich allein Alles bieten, was zur Kenntniss und genauen Construction des Gefässbündelnetzes nothwendig ist. Die unten angeführten Beispiele mögen hiezu als Belege dienen.

Wo es darauf ankommt, auch die Längenverhältnisse dieses Netzes genau zu kennen, d. h. jede Veränderung im Querschnitt auf das richtige

Niveau zu beziehen, bringt man auf der Oberfläche des zu untersuchenden Stammstückes in bestimmten Abständen, etwa von 3 zu 3^{mm}, beliebige Zeichen an, welche die Höhe der successiven Schnittflächen zu bestimmen oder approximativ zu schätzen gestatten. Zuweilen kann auch das Einritzen einer Längslinie in die Oberfläche zur leichtern Orientirung und genauern Bestimmung seitlicher Verschiebungen auf den successiven Querschnitten zweckdienlich sein. Um die Vergleichung zu erleichtern, ist unter allen Umständen zu empfehlen, die wichtigern Schnitte mittelst der Camera lucida zu skizziren und die einzelnen Bündel mit Buchstaben oder Ziffern zu bezeichnen.

- 627** Die Combination zusammengehöriger Längshälften geschieht am besten in der Art, dass man dieselben mit den Schnittflächen nach oben gekehrt neben einander legt und wo es nöthig ist mit der Camera lucida skizzirt. Man achte hiebei darauf, dass die untern Enden der Stammhälften in beiden Skizzen in dieselbe Horizontale fallen, da alsdann auch die jüngsten Knoten im Internodium sich entsprechen müssen. Zur Controle ist es zweckmässig, durch das untere Ende des Stammes, bevor man dasselbe halbirt, einen oder mehrere Querschnitte zu führen, um dieselben mit den Längsansichten der untersten Internodien zu vergleichen. Das vollkommene Verständniss der Längsschnitte setzt natürlich voraus, dass man auf den letztern alle im Querschnitte wahrnehmbaren Bündel wieder erkenne, sowie ferner, dass zu jedem durchschnittenen Bündel in der andern Hälfte die Fortsetzung gefunden werde.

Je schwieriger es ist, solche Längsschnitte durch Kochen in Kali durchsichtig zu machen, desto sorgfältiger müssen natürlich Blätter, Schuppen, Haare u. dgl. vorher entfernt werden. Seltener ist das Wegpräpariren der Rinde zu empfehlen, da man hiebei gar zu leicht Gefässbündel verletzt. Ehe man irgend einen Druck auf die gekochten Schnitte anwendet, suche man alles Thatsächliche so weit als möglich festzustellen, um die Fragen, die noch zu lösen bleiben, zu präcisiren. Man prüfe alsdann, wie ein schwacher Druck auf die verschiedenen Stellen wirkt, weil es dadurch möglich wird, das Zerquetschen der weichen Partien, bevor man sie untersucht hat, zu verhüten. Zuweilen trägt auch ein Umwenden der Schnitte dazu bei, gewisse Gefässbündel deutlicher zu machen.

- 628** Die Darstellung eines räumlich bestimmten Verlaufes der Blattspuren durch die Zeichnung lässt sich in verschiedener Weise denken. Man kann sich das ganze Gefässbündelnetz auf eine umhüllende Cylinderfläche projicirt, hierauf die letztere der Länge nach aufgeschnitten und in der Ebene des Papiers flach gelegt denken. Oder man kann sich die Stammspitze durchsichtig vorstellen und die Gefässbündel so wiedergeben, wie sie dem Auge unter dieser Voraussetzung perspectivisch erscheinen würden. Bei einer dritten Art der Darstellung endlich denkt man sich die Gefässbündel in einer Kegelfläche mit grosser Oeffnung und projicirt dieselben auf die

Grundfläche des Kegels. Die Längslinien erscheinen als Radien und die Querschnitte als concentrische Kreise. Von diesen drei Projectionsarten sind jedoch die beiden letztern nur für besondere Fälle zu empfehlen; in der Regel verdient die erste der grössern Uebersichtlichkeit wegen den Vorzug.

Wir lassen nun einige Beispiele folgen, welche das besprochene Untersuchungsverfahren noch näher veranschaulichen sollen.

1) Die Stammspitze von *Iberis amara* zeigt auf Querschnitten das in Fig. 296 dargestellte Verhalten. Die Blätter besitzen je ein centrales Gefässbündel, welches an der Insertionsstelle in den Gefässbündelkreis des Stammes hereintritt. Die Blattdivergenz beträgt ziemlich genau $\frac{5}{13}$. Verfolgt man die hereingetretenen Stränge auf successiven Querschnitten, die man von Zeit zu Zeit mittelst der Camera lucida zeichnet, nach unten, so findet man, dass jeder Strang durch 10—11 Internodien heruntersteigt und sich dann ohne Ausnahme mit dem Strang des 5. untern Blattes vereinigt, also 6 mit 1, 7 mit 2 u. s. f. Ueberdiess ergibt sich, wenn man in jedem Knoten die Winkelabstände der herabsteigenden Blattspuren unter sich und im Verhältniss zu dem neu hereintretenden Strang vergleicht, noch folgendes Nähere über den Verlauf. Jedes Gefässbündel weicht zuerst nach der einen, dann nach der andern Seite von der Verticallinie ab und beschreibt also bis zur Vereinigung mit dem fünftuntern ein langgezogenes S. Der Gesamtverlauf der Blattspursympodien ist überdiess ein spiralig schiefer, und zwar ergibt die Thatsache, dass der Strang des 14. Blattes, statt auf den ersten senkrecht unter ihm befindlichen 1.

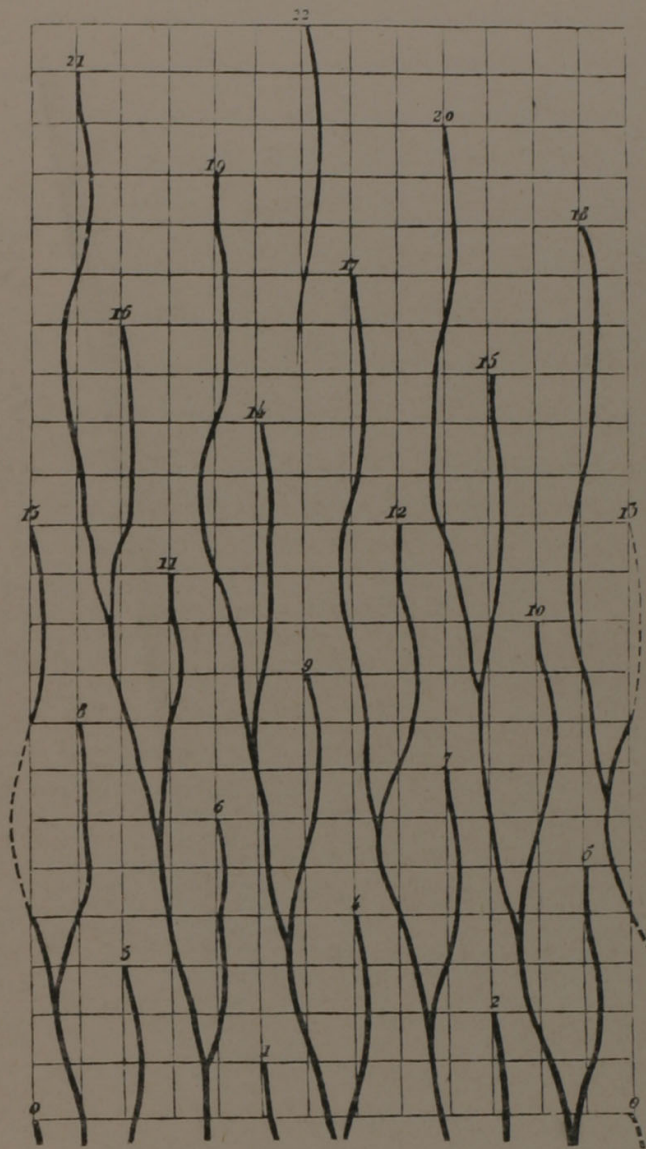


Figur 296.

zu treffen, sich nach dem 9. hinbewegt, eine Drehung von beinahe 30° auf jedes Internodium oder genauer 360° auf 65 Internodien. In Fig. 297 ist dieser Verlauf in der Cylinderprojection dargestellt.

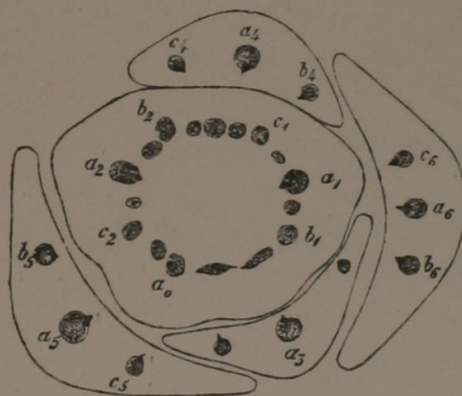
2) Die Laubtriebe von *Euphorbia pilosa* besitzen spiralig gestellte Blätter mit einer Divergenz von c. $\frac{5}{13}$. Auf Durchschnitten durch die Knoten sieht man sogleich, dass von jedem Blatt 3 Stränge in den Gefässbündelkreis hereintreten, wovon jedoch zunächst der Stammspitze nur der mittlere entwickelt ist (Fig. 298). Bezeichnet man diesen mittlern Strang durchgehend mit *a*, die beiden seitlichen mit *b* und *c*, und setzt den Buchstaben die den Knoten entsprechenden Indices 1, 2, 3, 4 etc. bei, so findet man durch successive Querschnitte über dem 11. Knoten folgende Anordnung (Fig. 299). Die Medianstränge a_6, a_7, \dots, a_{10} sind noch isolirt und der Blattstellung entsprechend angeordnet, während die der obern Knoten sich mit dem drittuntern Lateralstrang *b* vereinigt haben, also a_5 mit b_8 , a_4 mit b_7 etc. Aehnliche Vereinigungen haben zwischen c_7 und b_5 , c_6 und b_4 etc.

stattgefunden. Die Verschränkung der Blattspuren betreffend, so kommt b constant zwischen a und c des zweitunteren, c zwischen a und b des dritt-

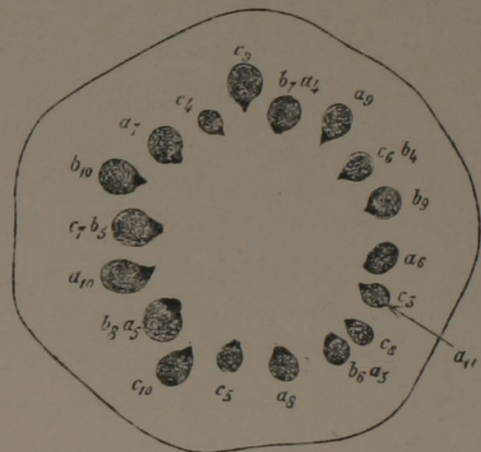


Figur 297.

unteren, endlich a zwischen a und c des fünftunteren Knotens zu liegen.



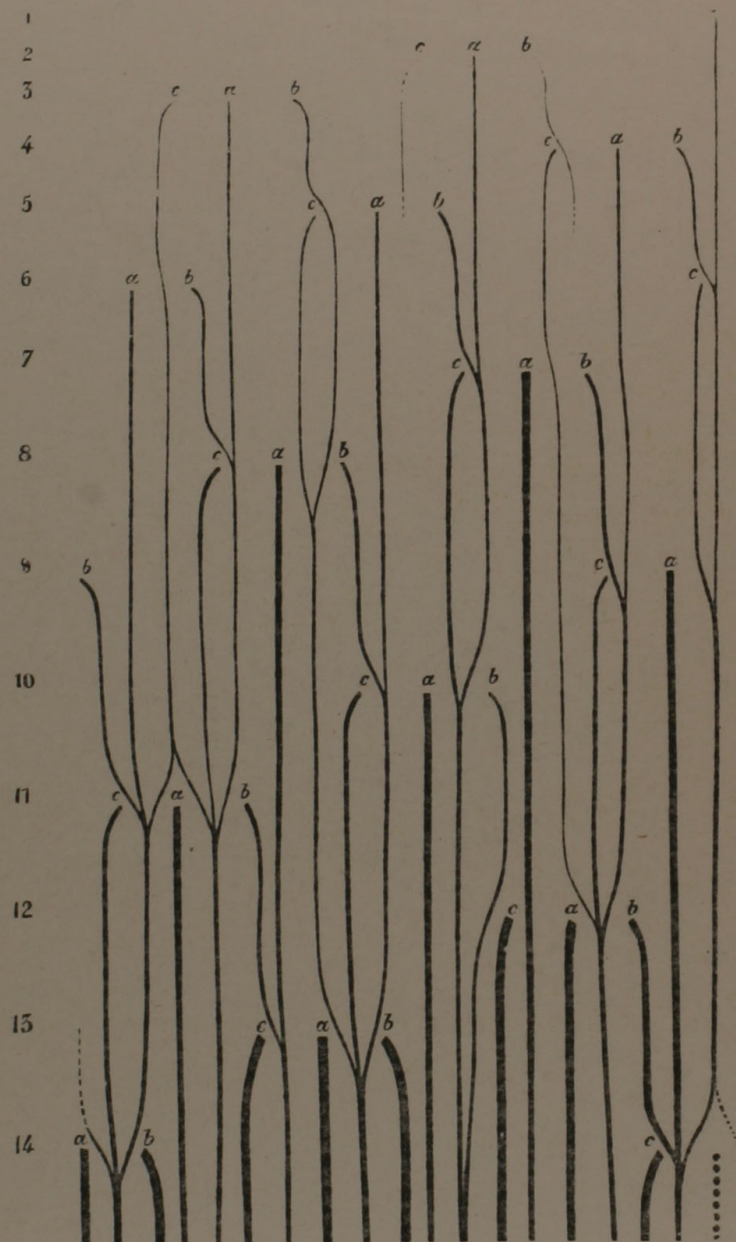
Figur 298.



Figur 299.

Setzt man die Schnitte noch ein Stück weiter fort, so spaltet sich das Bündel c_3 , um das Medianbündel a_{11} in den Zwischenraum eintreten zu lassen.

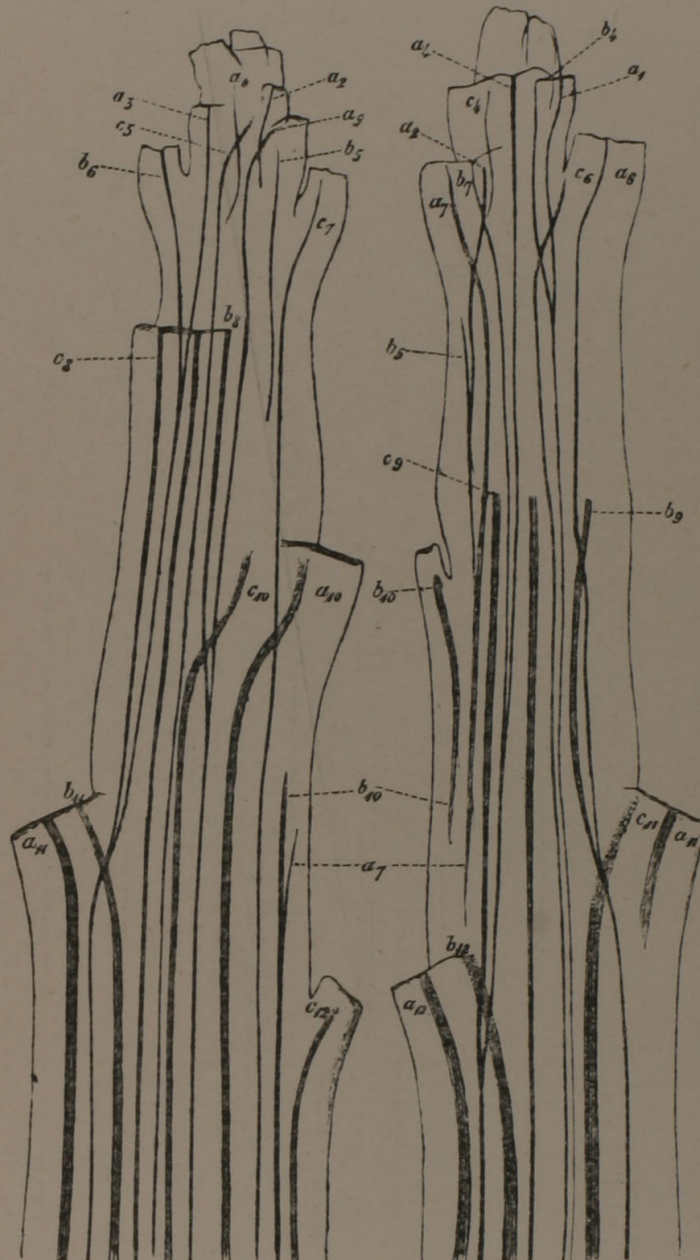
Diese Verhältnisse genügen, um den Längsverlauf der Gefässbündel nicht bloss für die 10 oder 11 untersuchten Internodien, sondern auch für die nächstfolgenden bis zum 14. Knoten zu bestimmen, womit bei der angenommenen Divergenz von $\frac{5}{13}$ die Reihe der vorkommenden Beziehungen



Figur 300.

abgeschlossen ist. Denn wie sich c_3 gegen a_{11} verhält, so muss — natürlich unter der Voraussetzung eines gesetzmässigen Verlaufes — auch c_6 gegen a_{14} sich verhalten. Mit c_6 steht aber b_4 und mit diesem a_1 in Verbindung, dessen Verhalten zu dem senkrecht darunter befindlichen a_{14} folglich gegeben ist. — Die schematische Darstellung dieses Längsverlaufes in der Zylinderprojektion ist in Fig. 300 gegeben.

- 630 Von der nämlichen Pflanze ist in Fig. 301 ein Längsschnitt dargestellt. Die beiden in Kali gekochten Stammhälften liegen mit den Schnittflächen nach oben gekehrt neben einander. Da die Knoten in der Stammspitze sehr genähert und die Blätter überdiess ungleich kurz abgeschnitten sind, so ist eine sorgfältige Vergleichung nothwendig, um die Nummern der Blattspuren



Figur 301.

in der Zeichnung bis zu den obersten noch wahrnehmbaren Bündeln richtig anzusetzen; doch machen es die im untern Theil der Figur ausgesprochenen Beziehungen, combinirt mit den Blattstellungsverhältnissen, möglich, diese Operation in der Weise, wie es in der Figur geschehen, auszuführen. Es bleibt also nur noch übrig, jedes einzelne Bündel nach unten zu verfolgen,

bis es sich an ein anderes ansetzt, wobei allerdings die am Rande liegenden Bündel, weil sie meistens durchschnitten sind, nicht selten aus zwei bis drei Stücken, die abwechselnd in der rechten und linken Hälfte liegen, zusammenconstruirt werden müssen. So ist z. B. b_5 in unserer Figur im Knoten 8 durchschnitten; der obere Theil liegt in der linken, der untere in der rechten Hälfte. Dasselbe gilt vom Medianstrang a_2 , welcher ungefähr in der Höhe des fünften Knotens durchschnitten wurde; ferner von b_{10} und a_7 , deren gemeinsame Fortsetzung vom 9. Knoten an ebenfalls im andern Längsschnitt zu suchen ist. Der Strang b_{10} scheint nach der Zeichnung links von c_{12} zu verlaufen, allein er liegt in einem höhern Niveau und daher in Wirklichkeit rechts. Solche Verhältnisse kommen öfter vor, namentlich wenn die Schnitte gequetscht werden, und es ist deshalb immer wichtig, auf die Niveauverschiedenheiten der Blattspuren genau zu achten.

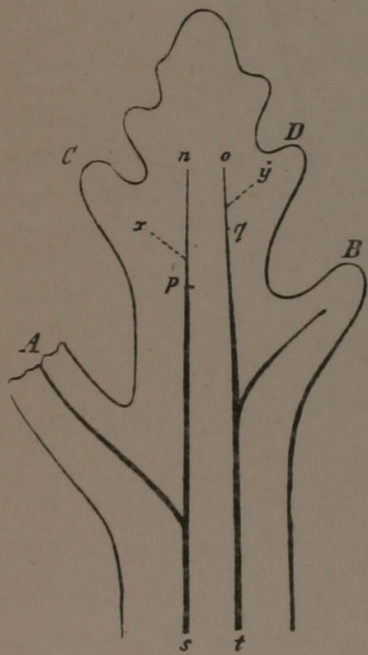
3. Entwicklung der Gefässbündel.

Die successiven Querschnitte durch die Terminalknospe und noch bes- 631
ser die halbirtten Stammspitzen bieten zugleich die nöthigen Anhaltspunkte, um die Entwicklung der Gefässbündel zu verfolgen. Man sieht ohne Weiteres, ob die Median- oder Lateralbündel der Blattspur zuerst auftreten, ob sie in ihrem Verlaufe nach unten stärker oder schwächer werden oder ganz verschwinden etc. Diese Beobachtungen beziehen sich indess nur auf die Bildung der ersten Ring- oder Spiralgefässe, und es wäre denkbar, dass die Entwicklungsfolge der Cambiumpartieen genau mit der spätern Gefässbildung übereinstimmte. Das Cambium selbst zu verfolgen ist in der grossen Mehrzahl der Fälle nicht möglich.

Die Antwort auf die oben erwähnte Frage, ob die Gefässbündel vom Stamme in die Blätter hinauswachsen oder umgekehrt von diesen in jenen herein, lässt sich sowohl nach Querschnitten als nach Längsansichten durchsichtiger Stammenden leicht feststellen. Die Beobachtung lehrt, dass das erste Gefäss einer Blattspur in der Blattbasis zur Entwicklung kommt und von da nach unten in den Stamm und nach oben in das Blatt hinein sich verlängert. Man sieht namentlich auf Längsschnitten sehr schön, dass das oberste gefässführende Blatt beispielsweise ein aus 2—3 Zellen zusammengesetztes Gefässstück, das nächst untere ein etwas längeres, welches mitten im Parenchym verschwindet, das drittuntere endlich ein Gefässbündel besitzt, das sich in gesetzmässiger Weise mit einem andern vereinigt. Zuweilen kommt es auch vor, dass der untere Theil eines Spurstranges zunächst der Ansatzstelle fast gleichzeitig mit dem obern angelegt wird, das mittlere Stück also zuletzt erscheint.*)

*) Dass Schacht auf seinen »äusserst zarten Längsschnitten« dergleichen Dinge nicht gesehen hat (vgl. Mikroskop, 3. Aufl. p. 146), ist begreiflich; denn solche Schnitte sind am allerwenigsten geeignet, über die fraglichen Verhältnisse Aufschluss zu geben. Die Sache ist aber nichtsdestoweniger sehr einfach. Es handelt sich hier in der That

Die entschieden umgekehrte Entwicklungsweise, wobei die Gefäßbündel von ihrer untern Ansatzstelle nach oben wachsen und dann in das entsprechende Blatt ausbiegen, scheint bei Phanerogamen nur selten vorzukommen. Wir beobachteten sie bis jetzt nur bei *Begonia dipetala*, hier jedoch in so ausgeprägter Weise, dass man schon nach wenigen Schnitten durch die Terminalknospe darauf aufmerksam wird, indem immer neue Bündel, die der Stellung nach den höhern Blättern entsprechen, zwischen den schon vorhandenen auftreten. Für die Kryptogamen liefert *Marsilea* (Nägeli, Beiträge I. Taf. 4) ein hierher gehöriges Beispiel, und allem Anschein nach verhalten sich noch manche andere Repräsentanten ebenso. Sicher ist, dass von unten nach oben wachsende Gefäßbündel fast bei allen Kryptogamen vorkommen; allein es ist in manchen Fällen zweifelhaft, ob diese Bündel wirklich Blattspuren darstellen, d. h. der Reihe nach in die successiven Blätter ausbiegen, oder ob sie vielleicht stammeigen sind, d. h. im Stamme bleiben und hier unausgesetzt nach oben wachsen. Stammeigene Bündel sind nämlich nur dann mit Sicherheit zu erkennen, wenn sie über die Ansatzstellen der untersten gefässlosen Blätter hinaufreichen. Sind z. B. *A* und *B* (Fig. 302) die obersten gefässführenden Blätter einer Stammspitze, so müssen die zwei im Stamme ver-



Figur 302.

laufenden Bündel *s* und *t*, an welche die Blattspuren sich ansetzen, ungefähr bis *n* und *o* hinaufreichen, wenn sie sich als stammeigen erweisen sollen, oder es müssen wenigstens die Blattspursätze für *C* und *D*, wenn bei *x* und *y* bereits solche vorhanden sind, sich entschieden als spätere seitliche Bildungen herausstellen. Gehen die stammeigenen Bündel nur bis *p* und *q*, so bleibt die Sache zweifelhaft, da sie ja immer noch nach *C* und *D* ausbiegen könnten, in welchem Falle sie natürlich als Blattspuren zu deuten wären. Gerade diesem letztern Stadium begegnet man aber bei manchen Kryptogamen am häufigsten, und wir glaubten um so eher darauf aufmerksam machen zu müssen, als dasselbe von Unger irrthümlich als Beleg für die Stamm-

eigenheit angeführt und abgebildet wurde.

nicht etwa um schwierige Objecte, die leicht zu Täuschungen Veranlassung geben, sondern einzig und allein um eine verständige Untersuchungsmethode. Jeder, der sich die Mühe nimmt, 3–10 mm lange, noch im Wachsthum begriffene dünne Stammspitzen krautartiger Pflanzen zu halbiren und die beiden Hälften je nach Umständen mit schwächerer oder stärkerer Kalilösung auf dem Objectträger zu behandeln, erforderlichen Falls auch auf dem Objectträger zu erhitzen und bei angemessenem Druck auf das Deckgläschen zu beobachten, wird sich von der Richtigkeit der obigen Darstellung leicht überzeugen.

So lange man keine entscheidenden Stadien beobachtet hat, müssen die Untersuchungen fortgesetzt werden, da möglicherweise andere Stammspitzen sich günstiger erweisen. Sollte es sich herausstellen, dass die Blattspursansätze durchweg gleichzeitig mit der nach oben gehenden Fortsetzung angelegt werden, ohne dass sich entscheiden liesse, welcher der beiden Zweige den Stammstrahl bildet, dann ist eine Lösung der Frage durch directe Beobachtung gar nicht möglich.

Ist die Art und Weise, wie die einzelnen Gefässbündel im Stamme angelegt werden und in der Längsrichtung sich fortentwickeln, festgestellt, so kann noch die weitere Frage in Betracht kommen, wie die Entwicklung der Gefässbündel im Querschnitt vor sich gehe und ob vielleicht ein und dasselbe Bündel sich in verschiedenen Höhen ungleich verhalte. Es ist klar, dass die successiven Querschnitte auch über diesen Punkt Aufschluss geben; ja es genügt eigentlich schon die genaue Betrachtung eines einzigen Querschnittes, um allfällige Verschiedenheiten zwischen den Blattspuren der nächst obern und denjenigen der höhern Knoten festzustellen. Denn es lässt sich voraussehen, dass die eben hereingetretenen Blattspuren sich tiefer unten im Stamme gerade so verhalten werden wie diejenigen, welche bis zum Niveau der Schnittfläche bereits eine entsprechende Zahl von Internodien durchlaufen haben. Die Vergleichung der verschiedenen Blattspuren im Querschnitt muss also dieselben Ergebnisse liefern, wie das Verfolgen einer bestimmten Blattspur durch die successiven Internodien.

Als Beispiel einer merklichen Verschiedenheit des Querschnittes im obern und untern Theil der Blattspuren mag hier die Palmengattung *Chamaedorea* Erwähnung finden. Die Veränderungen im Bau der Spurstämme, welche bei dieser Pflanze vorzugsweise in die Augen fallen, bestehen darin, dass der obere Theil viel Holz (Xylem) mit Spiralgefässen und wenig Bast, der untere dagegen wenig Holz mit porösen Gefässen und viel Bast besitzt. Wenigstens gilt diess für die innern Stränge, welche tief in das Mark eindringen; die Verschiedenheit ist um so geringer, je mehr sie der Rinde genähert bleiben. *)

VII.

Beobachtung kleinster Organismen.

Es giebt unter den Pflanzen äusserst kleine Formen, an denen man die Erscheinungen, welche sonst die Zellen darbieten, eben wegen der geringen Grösse nicht unterscheiden kann, wo selbst die ganze Pflanze zu-

*) Vgl. Nägeli, Beiträge z. wiss. Bot. p. 19 u. 132.

Nägeli u. Schwendener, Das Mikroskop. 2. Aufl.

weilen nur als ein mikroskopischer Punct oder als eine kurze Linie erscheint. Diese Gebilde erfordern eine besondere Betrachtung, dies um so mehr, als sie bei der Fäulniss, Gährung und bei manchen Krankheiten eine entscheidende Rolle spielen und daher in neuester Zeit vielfach Gegenstand der Aufmerksamkeit und des Studiums geworden sind. Die kleinsten, nur als Puncte und Linien erscheinenden Organismen sind

1) Die Schizomyceten (Spaltpilze, nach einer charakteristischen Form meistens als Bacterien bezeichnet). Einzellige isodiametrische Pflanzen, einzeln oder in mehrzelligen Vereinigungen. Die Zellen vermehren sich durch Theilung, welche letztere in den auf einander folgenden Generationen meistens durch gleich gerichtete Wände erfolgt: die Vereinigungen sind alsdann kurzgliedrige Stäbchen oder Fäden. Selten findet Theilung nach verschiedenen Richtungen statt, so dass mehrschichtige Tafeln oder Würfel entstehen (Sarcine). An den Stäbchen treten hin und wieder etwas verdickte und dunkel gerandete Endstücke auf, die an die Samen von *Cylindrospermum* und *Rivularia* erinnern und wahrscheinlich ebenfalls als Samen zu deuten sind. Die Schizomyceten gleichen in morphologischer Beziehung manchen Nostochinen (Chroococcaceen, Oscillarieen und Nostocheen). Ihre Zellen sind immer winzig klein, bei den stärksten Formen kaum 4,5 Mik. dick.

2) Gährungspilze (*Saccharomyces*). Einzellige Pflanzen von rundlicher oder kugelförmiger Form, die sich durch Sprossung und durch endogene Sporenbildung vermehren. Gewöhnlich sind die Gährungspilze viel grösser als die Spaltpilze, so dass man an ihnen deutlich die Membran und den vacuolenbildenden Inhalt unterscheidet; einzelne Formen indess sind nicht viel über 4 Mik. gross.

3) Schimmelpilze. Ungegliederte oder gegliederte, verzweigte Fäden, die auf verschiedene Weise durch Sporen sich fortpflanzen. Im Allgemeinen sind die Schimmelpilze so stark, dass die Membran und die verschiedenen Bildungen des Inhalts deutlich werden; in einzelnen Fällen sinkt indessen ihre Dicke bis auf 4 Mik. herunter.

634 Bei der Untersuchung dieser kleinsten Organismen ist Folgendes zu berücksichtigen. Formen, deren Dicke 4 Mik. nicht überschreitet, sind im Allgemeinen nicht von unorganisirten Körpern gleicher Grösse und Gestalt zu unterscheiden. Krystallinische, feinkörnige Niederschläge, organische körnige Ausscheidungen (z. B. Caseinkörnchen), feine Krystallnadelchen werden oft für Schizomyceten angesehen. Krystallinische Bildungen sind zuweilen durch ihr Verhalten zum polarisirten Licht gekennzeichnet, indem sie sich als doppelbrechend erweisen, während gleich grosse Organismen einfachbrechend sind. Im Uebrigen giebt es nur wenige Merkmale, nach denen man mit einiger Sicherheit Körnchen als Organismen deuten darf: die Bewegung, die Fortpflanzung und die gleichmässige Grösse. Wenn Körnchen fortschreitende Bewe-

gung besitzen und in Folge derselben im Wasser herumschwimmen, so sind es sicher Schizomyceten oder Monaden, während Zitterbewegung (Molecularbewegung) nichts entscheidet. Sind unter vielen Körnchen mehrfach Paare von zusammenhängenden vorhanden, und stehen die Körnchen dieser Paare bald mehr und bald weniger von einander ab, so kann man auf Theilung und somit auf Vermehrung schliessen, und zwar mit um so grösserer Sicherheit, je mehr die Körnchen eine genaue kugelige oder ovale Gestalt besitzen, indem die eigentlichen Körnchen (Nichtorganismen) häufig etwas unregelmässig sind. Der nämliche Schluss ist gerechtfertigt, wenn die Körperchen stäbchenförmig und wenn manche derselben durch ihre knieförmigen Biegungen ein Zerfallen in zwei andeuten. Dabei ist übrigens zu bemerken, dass ein vereinzelt oder spärliches Vorkommen dieser Erscheinungen nicht zu einem bestimmten Schluss verleiten darf; nur wenn die Theilungserscheinungen häufig vorkommen und dadurch sich als normalen Entwicklungsprocess kundgeben, beweisen sie die Existenz von Organismen. — Zeigen die Körnchen ungleiche Dicke, so kann man sicher sein, dass es keine Spaltpilze sind; es können aber Saccharomyceszellen sein. Haben dagegen die Körnchen gleiche Dicke, so ist der Schluss auf ihre Schizomycetennatur noch nicht erlaubt, da auch körnige Niederschläge dieses Verhalten zeigen können.

Die Unterscheidung der kleinsten Organismen von einander bietet **635** ebenfalls viele Schwierigkeiten, um so mehr, da sie so häufig mit einander gemengt auftreten. Kugelige Spaltpilze und Gährungspilze sind daran zu erkennen, dass bei jenen die einzelnen Zellen von gleicher Grösse und die Paare gleichgliedrig, bei diesen die einzelnen Zellen oft von ungleicher Grösse und die Paare ungleichgliedrig sind (an einem grössern Kügelchen ist ein kleineres befestigt). Fadenförmige Spaltpilze und Schimmelfäden sind dadurch zu unterscheiden, dass jene immer unverzweigt, diese hin und wieder verzweigt sind. Grössere Gährungspilze werden leicht mit Pilzsporen verwechselt; diese Verwechslung ist nur dann unmöglich, wenn die Gährungspilze sprossen und besonders, wenn sie mehr als eine Tochterzelle tragen oder wenn die Sporen keimen und zum Theil in längere Keimschläuche ausgewachsen sind.

Innerhalb der Spaltpilze selber ist die morphologische Unterscheidung der Formen sehr wünschbar, da das physiologische Verhalten oder die Wirkungsweise eine grosse Mannigfaltigkeit zeigt und daher die Frage, ob mit der ungleichen Wirksamkeit eine ungleiche Gestaltung parallel gehe, von bedeutender practischer Wichtigkeit ist. Man hat die Schizomyceten in ein System von Gattungen und Arten gebracht. Cohn *) unterscheidet die Gattungen vorzüglich nach der Länge der Zellen und bildet Formen ab, deren Zellen 3 bis vielmal länger sind als breit und einen körnigen Zellin-

*) Beiträge zur Biologie der Pflanzen, 2. Heft. Breslau 1872.

halt besitzen. Solche Schizomyceten giebt es nicht; alle sind kurzgegliedert. *) An den stärkern Formen sieht man die Stäbchen mehr oder weniger torulos und bei Anwendung von Iodtinctur tritt die Gliederung oft sehr deutlich hervor. Die Verschiedenheiten zwischen den sämtlichen Formen (mit Ausschluss von Sarcine) besteht nur darin, dass die Zellen eine ungleiche Dicke besitzen und dass sie entweder vereinzelt oder zu Stäbchen und Fäden vereinigt sind. Die sogenannte Mikroccus-Form kommt dadurch zu Stande, dass die Zellen bald nach der Theilung sich trennen. Generische, selbst spezifische Unterschiede können wir trotz langjähriger Beobachtungen nicht namhaft machen, da sehr oft die nämliche Form alle Uebergänge von einzelnen kugeligen Zellen zu längern vielzelligen Stäbchen zeigt.

636 Die Spaltpilze, Gährungspilze und Schimmel geben zu vielen Versuchen Veranlassung wegen ihrer grossen Bedeutung in wissenschaftlicher und practischer Hinsicht, im Gebiete der Industrie, der Pathologie und Hygiene. Alle diese Versuche müssen mit dem Mikroskop geprüft werden. Sie wurden in neuester Zeit von vielen Beobachtern in grosser Menge angestellt. Wenn sie im Verhältniss zum Aufwand von Zeit und Mühe nur äusserst wenige ganz sichere Resultate ergeben haben, so liegt die Schuld theils an mangelhafter mikroskopischer Beobachtung, theils an fehlerhaften Experimenten, und fast immer an geringer Bekanntschaft mit der Lebensweise der fraglichen Organismen. Es liegt ausser dem Rahmen dieses Buches, hierüber in Einzelheiten einzugehen; doch mögen einige allgemeine Bemerkungen hier Platz finden.

Fast immer handelt es sich darum, das Verhalten bestimmter Formen kennen zu lernen. Das beste Mittel hiefür ist die Cultur derselben bei Ausschluss der übrigen. Dieser Ausschluss ist nur bei der Cultur der Gährungspilze und der Schimmelpilze in einzelnen Fällen zu erreichen. **) Spaltpilze gestatten mit Sicherheit keine Reincultur, theils wegen ihrer ausserordentlichen Kleinheit, theils wegen ihrer allgemeinen Verbreitung im Wasser und in der Luft. Daher rühren die unrichtigen Angaben über Entstehung von Spaltpilzen aus andern Organismen. Darum geben die Culturen, bei denen man ein Tröpfchen einer Flüssigkeit in eine Nährstofflösung bringt und dann abschliesst, unbrauchbare Resultate. Darum auch muss man inficirte Substanzen sogleich frisch untersuchen, da sie nach einem halben Tag schon von Schizomyceten, die aus der Luft angefliegen sind und sich vermehrt haben, wimmeln können.

*) Die von Cohn abgebildeten Formen können alle zu den Spaltpilzen gehören, wenn man voraussetzen darf, dass das torulose Aussehen der Stäbchen irrthümlich als körniger Inhalt aufgefasst wurde. Von *Spirillum volutans* ist wohl anzunehmen, dass es ein fremdartiger, nicht zu den Schizomyceten gehöriger Organismus sei.

**) Vgl. Brefeld, Methoden zur Untersuchung der Pilze [Verhandl. der phys.-med. Ges. in Würzburg, N. F. VIII. Bd. (1874)].

Einer der wichtigsten Punkte, der bei den in Rede stehenden Ursachen **637** fast überall eine Rolle spielt, ist die Vermehrungsfähigkeit der Spaltpilze. Denn es kommt bei verschiedenen Fragen darauf an, in welchem Verhältniss fremdartige neu hinzugekommene Keime in einer gegebenen Zeit sich vermehren können, um daraus auf die Wirkung zu schliessen, welche man denselben zuschreiben darf. Da die Einzelcultur der Schizomyceten unter dem Mikroskop unmöglich ist, so wollen wir hier zeigen, auf welchem Wege die Vermehrungsfähigkeit gefunden werden kann. Diese ist durch die Zeit gegeben, die für einmalige Theilung erforderlich ist, also durch die Lebensdauer einer Zelle oder einer Generation. Es handelt sich also darum, diese Lebensdauer für bestimmte Formen und unter bestimmten äussern Einflüssen zu ermitteln.

Die Schizomyceten wirken in verschiedener Weise auf das Substrat, in welchem sie leben. Der Grad der Wirkung lässt sich am besten durch die Veränderung eines Farbstoffes bestimmen, welcher entweder direct durch dieselben umgewandelt oder durch ein Gährungsproduct verändert wird. Die Spaltpilze führen z. B. den Milchzucker in Milchsäure über; ist die Lösung anfänglich durch Lacmus blau gefärbt, so wird sie nach einiger Zeit in Folge der Säurebildung roth. Wenn man in mehrern Gläsern ursprünglich eine gleiche Menge der nämlichen Lösung hatte, so lässt sich für jedes durch den Farbenton sehr genau der Zeitpunkt bestimmen, wann eine gewisse Säuremenge erzeugt worden ist. Dazu bedarf es in jedem Glase der nämlichen Menge von Zellen, und da jede Zelle eine Zeit lang lebt und dann sich in zwei theilt, so muss in einem Glas die bestimmte Wirkung um so später eintreten, je kleiner die ursprüngliche Zahl von Zellen war. Die endliche Wirkung ist also die Summe der Wirkungen aller auf einander folgenden Generationen. Unter gewissen Umständen (wenn nämlich verhältnissmässig nur wenig Säure gebildet werden muss, bis die gewünschte Wirkung eintritt) lässt sich annehmen, dass jede Generation annähernd gleich genährt und auch sonst vom umgebenden Medium annähernd gleich beeinflusst sei, dass also der Zeitraum von einer Theilung bis zur nächstfolgenden in den ersten und letzten Generationen nahezu gleich sei. Darauf gründet sich folgende Methode der Rechnung.

Man hat eine Reihe von Gläsern mit der gleichen Nährstofflösung durch Erhitzen im Dampfkessel frei von lebenden Keimen gemacht. Von einer bestimmten Flüssigkeit, welche Schizomyceten enthält, wird in das erste Glas eine geringe Menge, z. B. 0,4^{cc} gegeben. Dann wird jene Flüssigkeit mit ausgekochtem Wasser auf die zehnfache Verdünnung gebracht und davon wieder 0,4^{cc} in das zweite Glas gegeben. Wenn in dieser Weise fortgefahren wird, so beträgt die Zahl der Zellen im ersten Glas = a , im zweiten = $\frac{a}{10}$ und in den folgenden = $\frac{a}{100}$, $\frac{a}{1000}$, $\frac{a}{10000}$ etc. In jedem Glase kommt die gewünschte Wirkung zu Stande, wenn die Summe der

in den successiven Generationen thätigen Zellen die Zahl C erreicht hat. Berücksichtigen wir nur die drei ersten Gläser, so ist für

$$\text{Glas I. : } C = a + 2a + 2^2a + 2^3a \dots 2^m a \quad (1)$$

$$\text{Glas II. : } C = \frac{a}{10} + \frac{2a}{10} + \frac{2^2a}{10} + \frac{2^3a}{10} \dots \frac{2^na}{10} \quad (2)$$

$$\text{Glas III. : } C = \frac{a}{100} + \frac{2a}{100} + \frac{2^2a}{100} + \frac{2^3a}{100} \dots \frac{2^pa}{100} \quad (3)$$

Die Zeit, welche bis zum Eintritt der gewünschten Wirkung vergeht, sei für Glas I = t_1 , für Glas II = t_2 , für Glas III = t_3 . Die Lebensdauer der Generationen kann hienach, da die Zahl derselben in I, II und III beziehlich $m + 1$, $n + 1$ und $p + 1$ beträgt, ausgedrückt werden durch $\frac{t_1}{m+1}$, $\frac{t_2}{n+1}$, $\frac{t_3}{p+1}$. Diese Werthe müssen, da ja die Organismen in allen drei Gläsern unter den nämlichen Bedingungen vegetiren, einander gleich sein. Man hat somit

$$\frac{t_1}{m+1} = \frac{t_2}{n+1} = \frac{t_3}{p+1} \quad (4)$$

Halten wir uns zunächst an die den zwei ersten Gläsern entsprechenden Werthe, so ergiebt sich aus vorstehender Gleichung $(n+1)t_1 = (m+1)t_2$,

$$\text{folglich:} \quad n = \frac{(m+1) \cdot t_2}{t_1} - 1 \quad (5)$$

Wird nun in Gleichung (2) dieser Werth für n substituirt und hierauf die Reihe der Glieder rechts vom Gleichheitszeichen der entsprechenden in (1) gleichgesetzt, so hat man, da a als gemeinsamer Factor verschwindet,

$$1 + 2 + 2^2 + 2^3 \dots + 2^m = \frac{1}{10} \left\{ 1 + 2 + 2^2 + 2^3 \dots 2^{\frac{(m+1)t_2}{t_1} - 1} \right\}$$

Bildet man die Summen dieser Reihen und dividirt die eine durch die andere, so nimmt diese Gleichung die Form an:

$$\frac{2^{\frac{(m+1)t_2}{t_1} - 1}}{2^{(m+1)} - 1} = 10 \quad (6)$$

Die Auflösung dieser Gleichung kann nur durch Probiren geschehen. Für den Fall jedoch, dass die Zahl der Generationen nicht allzu klein ist, kann das zweite Glied im Zähler und Nenner weggelassen werden. Man hat alsdann:

$$\frac{2^{\frac{(m+1)t_2}{t_1}}}{2^{(m+1)}} = 10,$$

und hieraus

$$2^{\left(\frac{t_2}{t_1} - 1\right) \cdot (m+1)} = 10 \quad (7)$$

Für t_2 und t_1 führen wir jetzt die beobachteten Werthe ein. Es wurde in einem bestimmten Falle gefunden $t_2 = 30$ Stunden, $t_1 = 48$ Stunden. Somit ist $\frac{t_2}{t_1} = \frac{5}{3}$ und $\left(\frac{t_2}{t_1} - 1\right) \cdot (m + 1) = \frac{2}{3}(m + 1)$. Gleichung (7) nimmt somit die Form an:

$$2^{\frac{2}{3}(m+1)} = 40, \text{ oder } 2^{2(m+1)} = 4000,$$

woraus $2(m+1) \cdot \log 2 = \log 4000 = 3,$

folglich $m + 1 = \frac{3}{2 \cdot \log 2} = 4,98$ oder rund $= 5$.

Der Werth von n berechnet sich hieraus auf $5 \cdot \frac{5}{3} - 1 = 7\frac{1}{3}$. Die Lebensdauer der einzelnen Generationen ist demzufolge $\frac{t_1}{m+1} = \frac{48}{5} = 3,60$ oder $\frac{t_2}{n+1} = \frac{30}{8\frac{1}{3}} = 3,60$ Stunden.

Zur Controlle kann die Berechnung auch für Glas I und III oder II und III ausgeführt werden. In dem oben als Beispiel angeführten Fall ergab die Vergleichung von I und III, in welchem letzterem die gewünschte Wirkung nach 42 Stunden eingetreten war, eine Lebensdauer von 3,63 Stunden. Die genaue Uebereinstimmung der beiden Resultate zeigt die Richtigkeit des Verfahrens.

P

PREISVERZEICHNISSE

NEUERER OPTIKER.

No. 1.

Preisverzeichniss der achromatischen Mikroskope von Dr. **E. Hartnack & A. Prazmowski**, Nachfolgern von **G. Oberhäuser**. In Paris Rue Bonaparte 1, in Potsdam Waisenstr. 39 *).
(1876.)

(Preise in Francs und Mark.)

A. Preise der Mikroskope.

- No. I. Kleines Mikroskop (d'hospice) mit einem Linsensystem No. 7 und einem Okular No. 3; Vergrösserung 300; mit 1 Dtz. Objektträger, 1 Dtz. Deckgläschen, Messingpinzette, Skalpell und Präparirnadeln 75 Fr. 60 Mark.
- No. II. A. Mikroskop mit festem Objektisch, Mikrometerschraube über der Säule, Spiegel in freier Bewegung für schiefe Beleuchtung mit den Systemen 4, 7 und den Okularen 2 und 3; Vergrösserungen 50, 65, 220 und 300; mit Beleuchtungslinse für opake Körper 135 Fr. 108 Mark.
Dasselbe Instrument unter Hinzufügung des Objektivs No. 8 und des Okulars No. 4; Vergröss. 50—600 185 Fr. 148 Mark.
- No. III. Mikroskop, das Gestell im oberen Theile dem vorigen ähnlich, mit Hufeisenfuss, freibeweglichem Spiegel für schiefe Beleuchtung; optischer Apparat derselbe 155 Fr. 124 Mark.
Um Vergrösserungen bis zu 600 zu erhalten 205 Fr. 164 Mark.
- No. III. A. Mikroskop, dem vorigen gleich; Säule aber mit einem Charnier, um in geneigter Lage des Instruments beobachten zu können; optischer Apparat wie vorher 170 Fr. 136 Mark.
Um Vergrösserungen bis zu 600 zu erhalten 220 Fr. 176 Mark.
- No. VI. Dissektions-Mikroskop mit grosser Fokaldistanz und Bildumdrehung; Vergrösserungen (ohne Linsen- und Okularwechsel) von 10—100; drehbarer Tisch mit Glasplatte 250 Fr. 200 Mark.
- No. VII. Neues grosses Mikroskop, dessen optische und mechanische Konstruktion wesentlich vom älteren grossen Modell abweicht. Es besteht aus 5 Linsensystemen, 2, 4, 5, 7 und 9, letzteres mit Immersion und Korrektion, und 5 Okularen (wovon eines mit Mikrometer); Vergrösserung 25—1300; jedes System vergrössert annähernd doppelt so stark als das vorhergehende. Grobe Bewegung vermittelt Trieb, die feine Einstellung durch Mikrometerschraube. Grosse Beleuchtungslinse für opake Objekte; alle nothwendigen Hilfs-Apparate. 750 Fr. 600 Mark.
Dasselbe Instrument mit Charnier zum Umlegen 800 Fr. 640 Mark.

*) Für das südwestliche Deutschland und die Schweiz sind Hartnack'sche und andere Instrumente (so von Nachet, Zeiss, Seibert, Merz, Leitz) nebst allen mikroskopischen Utensilien durch den Optiker Th. Ernst in Zürich zu beziehen.

- No. VII. A. Mikroskop, dem vorigen gleich, aber kleiner und mit weniger hoher Tischplatte; optische Einrichtung dieselbe 650 Fr. 520 Mark.
Dasselbe Instrument mit Charnier zum Umlegen 680 Fr. 544 Mark.
- No. VIII. Neues kleines Stativ, dessen Einrichtungen, mit Ausnahme der Rotation des Objektisches und der groben Bewegung mittelst Trieb, die gleichen Vortheile wie No. VII. darbieten, mit den Linsensystemen No. 4, 7, 8 und den Okularen 2, 3 und 4; Vergröss. 50—650 275 Fr. 220 Mark.
Dasselbe Instrument mit den Systemen 4, 7 und 9, letzteres mit Immersion und Korrektion, 3 Okularen (unter denen eins mit dem Mikrometer versehen ist); Vergrösserungen 50—1000 390 Fr. 312 Mark.
Dasselbe mit Charnier zum Umlegen 405 Fr. 324 Mark.

- Bemerk.* 1. Alle Mikroskope befinden sich in einem verschliessbaren Mahagonikasten.
2. Die Mikroskope I., II. A. III. und III. A. sind mit Linsen-Systemen älterer Konstruktion versehen; die übrigen haben die neuen Linsen-Systeme mit grossen Oeffnungswinkeln.
3. Der Polarisations-Apparat kann am vortheilhaftesten an den Mikroskopen Nr. VII., VII. A. und VIII. verwendet werden.
4. Sollte Jemand eine andere Serie von Linsen-Systemen und Okularen wünschen, als diejenige, welche bei den verschiedenen Mikroskopen angegeben ist, so findet er in diesem Preisverzeichniss alle Angaben zur Berechnung des Preises für jede beliebige Zusammenstellung.
5. Unser altes Preisverzeichniss enthält verschiedene Mikroskope, deren Konstruktion mit Rücksicht auf den Fortschritt der Wissenschaft unzureichend ist; sie finden sich deshalb nicht mehr in obigem Verzeichniss. Wir haben es indess für zweckmässig gehalten, die alten Nummern der Mikroskope beizubehalten, weil viele Personen, welche mit unseren Instrumenten arbeiten, daran gewöhnt sind, ihre Mikroskope nach den alten Nummern zu bezeichnen.

B. Preise einzelner Linsen-Systeme und anderer Neben-Apparate.

Linsen-Systeme älterer Konstruktion.

Vergrösserungen mit den Okularen.

System.	Okular No. 1.	No. 2.	No. 3.	No. 4.	No. 5.	No. 6.	Preis.	
No. 1	12	15	25	—	—	—	20 Fr.	16 Mark.
2	20	30	40	—	—	—	20 -	16 -
3	30	40	50	—	—	—	20 -	16 -
4	40	50	65	100	—	—	20 -	16 -
5	75	100	150	200	—	—	30 -	24 -
6	110	150	220	300	—	—	35 -	28 -
7	150	220	300	450	—	—	35 -	28 -
8	250	300	400	600	800	—	40 -	32 -
9	360	430	520	850	1000	—	60 -	48 -

Neue Linsensysteme mit grossem Oeffnungswinkel.

System.	Fokus der äquival. Linse.	Okular No. 1.	No. 2.	No. 3.	No. 4.	No. 5.	Nr. 6.	Preis.	
No. 1	2 Zoll	15	20	25	—	—	—	20 Fr.	16 Mark.
2	1 -	25	30	45	—	—	—	20 -	16 -
3	3/4 -	50	60	80	120	—	—	30 -	24 -
4	1/2 -	60	70	90	140	—	—	30 -	24 -
5	1/4 -	100	125	160	240	—	—	35 -	28 -
6	1/4 -	150	180	240	350	—	—	40 -	32 -
7	1/6 -	200	240	300	450	600	750	40 -	32 -
8	1/9 -	250	300	400	600	800	1000	50 -	40 -
9	1/11 -	350	400	550	860	1100	1400	75 -	60 -

Neue Systeme mit Immersion und Korrektion.

9	1/12 Zoll	410	480	630	950	1300	1500	150 Fr.	120 Mark.
10	1/16 -	520	600	750	1100	1500	1800	200 -	160 -
11	1/18 -	600	690	850	1250	1750	2500	250 -	200 -
12	1/21 -	710	820	1010	1490	2060	2800	300 -	240 -
13	1/25 -	820	950	1170	1730	2370	3100	350 -	280 -
14	1/30 -	930	1080	1340	2000	2680	3350	400 -	320 -
15	1/33 -	1040	1200	1500	2200	3000	3600	450 -	360 -
16	1/40 -	1200	1400	1750	2570	3500	4200	500 -	400 -
17	1/45 -	1400	1600	2000	2940	4000	4800	500 -	400 -
18	1/50 -	1560	1800	2250	3300	4500	5400	500 -	400 -

Einfaches Okular No. 1, 2, 3, 4 und 5	10 Fr. 8 Mark.
Holosterisches Okular	15 Fr. 12 Mark.
Spitzen-Okular	25 Fr. 20 Mark.
Mikrometer-Okular	25 Fr. 20 Mark.
Binoculäres stereoskop'sches Okular, welches die Objekte aufrecht zeigt.	180 Fr. 144 Mark.
Beweglicher Objektisch	60 Fr. 48 Mark.
Neues Kompressorium	30 Fr. 24 Mark.
Objektisch-Mikrometer mit Messingfassung:	
der Millimeter in 100 gleiche Theile getheilt	20 Fr. 16 Mark.
Neues bewegliches Mikrometer	50 Fr. 40 Mark.
Dieses Instrument erlaubt, mit grosser Genauigkeit bis zu 0,0001 Millimeter zu messen.)	
Verbesserter patentirter Polarisations-Apparat mit Polarisations-Okular, einem Prisma mit grossem Sehfeld und getheiltem Kreisbogen	60 Fr. 48 Mark.
Goniometer, die Winkel der mikroskopischen Krystalle zu messen	60 Fr. 48 Mark.
Universal-Goniometer, auf dem Objektisch zu befestigen, Horizontalkreis mit zwei Nonien, zwei zu einander rechtwinkligen Mikrometer-Bewegungen; getheilte Vertikalkreis mit Zeiger, mit langsamer und schneller Kreisbewegung	150 Fr. 120 Mark.
Spektral-Apparat für mikroskopische Studien, mit Prismen in geradliniger Anordnung, Röhre für die Flüssigkeiten, zur Vergleichung der Absorptionen	120 Fr. 96 Mark.
Verbesserter Dujardin'scher Beleuchtungs-Apparat zur Verminderung der Diffractions-Wirkungen	50 Fr. 40 Mark.
Camera lucida von Oberhäuser, zugleich zur Verwandlung des vertikalen Mikroskops in ein horizontales dienend	50 Fr. 40 Mark.
Camera lucida von Milne Edwards und Doyère	35 Fr. 28 Mark.
Brücke'sche Lupe (verbesserte Konstruktion)	20 Fr. 16 Mark.
Stativ für Brücke's Lupe, so dass derselben jede beliebige Stellung gegeben werden kann.	30 Fr. 24 Mark.
Lampe für mikrographische Studien mit einer grossen Linse, die Lichtstrahlen parallel zu machen: mit Petroleum oder Gas anzuwenden	35 Fr. 28 Mark.
Lupe für Augenärzte	10 Fr. 8 Mark.
Einfache Lupe in Horn-Fassung	5 Fr. 4 Mark.
Doppel-Lupe do.	8 Fr. 6 Mark.
Dreifache Lupe do.	12 Fr. 8 Mark.
Achromatische Lupe mit vollständig planem und geradlinigem Gesichtsfelde.	15 Fr. 12 Mark.
Objektgläser, erste Qualität, à Dutzend	2 Fr. 50 Cts. 2 Mark.
do. zweite do. do.	1 Fr. 25 Cts. 1 Mark.
Deckgläschen, das Dutzend	1 Fr. 25 Cts. 1 Mark.
do. das Hundert	6 Fr. 25 Cts. 5 Mark.

No. 2.

Preisverzeichniss mikroskopischer Instrumente und Apparate von
Nachet & Sohn in Paris (Rue St. Severin. 17).
 (1872.)

(Preise in Francs.)

A. Preise der Mikroskope.

1. Grosses vollständiges, binokuläres Mikroskop mit verbessertem Stativ. An der horizontalen Axe aufgehängt, um eine Schiefstellung und Fixirung in jeder Position zu gestatten. Die gröbere Einstellung durch ein Triebwerk, die feineren durch Mikrometerschrauben geschehend, wobei die eine das Rohr bewegt, die andere sehr fein auf den Träger der Linsensysteme einwirkt. Drehbarer mit Glas eingelegter Objektisch, mit einer durch eine Schraube beweglichen Vorrichtung zum Verschieben des Präparates, welches überdies durch Federklemmen gehalten werden kann. Ebener und konkaver Spiegel mit freier Bewegung für Anwendung der schiefen Beleuchtung. Eine zwischen Spiegel und Tisch befindliche, senkrecht verstellbare und mit einem Hebel versehene Vorrichtung gestattet, die Diaphragmen zu verändern und den Kon-

densor mit grosser Schärfe in den Fokus zu bringen. Vorrichtung, um den Glasmikrometer in jedes Okular einzulegen; jener lässt sich durch eine kleine Schraube in den Fokus bringen und nach den verschiedenen Stellen des Sehfeldes bewegen. Acht Objektivsysteme mit Korrektionsvorrichtung von No. 0—7 und Vergrösserungen von 30—1400 linear, vier Okulare und binokuläre Vorrichtung, Goniometer, Camera lucida, Polarisationsapparat mit Gypsplatten, Kondensor, Okular- und Objektischmikrometer. Beleuchtungslinse für opake Gegenstände; übrige Präparationsbedürfnisse, wie Glasplatten und feine Deckgläschen; anatomische Instrumente, wie Nadeln, Skalpelle, Scheeren, feine Pinzetten etc. Das ganze Instrument ist in einem starken, äusserlich mit messingenen Ecken und innen mit Sammetüberzug versehenen Kasten enthalten; die Linsensysteme überdies in einem Maroquin-Etui 1400 Fr.

2. Grosses Mikroskop. Befestigung an der Axe und drehbarer, mit eingelegtem Glas versehener Objektisch, wie bei No. 1. Größere Einstellung durch Stellschraube, feine durch eine Mikrometerschraube; beweglicher Träger der Diaphragmen und des Kondensors; ebener und konkaver Spiegel mit freier Beweglichkeit für schiefe Beleuchtung. Mikrometer durch eine Vorrichtung in jedes Okular einfügbar; 3 Okulare, 6 gewöhnliche Linsensysteme, No. 0, 2, 3, 5, 7 mit Immersion und Korrektion; Vergrösserungen von 30—1400. Camera lucida, Okular- und Objektischmikrometer, Beleuchtungslinse, Präparationswerkzeuge etc., Mahagonikasten mit messingenen Ecken etc. 650 Fr.
3. Grosses vertikales Stativ mit drehbarem Tisch, doppelter Bewegung zum Einstellen, einem Apparat zum Tragen und Auswechseln der Blendungen und Beleuchtungsvorrichtungen, Glasmikrometer, durch eine Vorrichtung in jedes Okular einzuführen, Objektischmikrometer. Dazu fünf Linsensysteme, No. 1, 2, 3, 5 und 7 mit Immersion und Korrektion, welche mit 3 Okularen Vergrösserungen von 70—1400 ergeben. Camera lucida, Präparationswerkzeuge etc., in einem Kasten mit Handhabe (Die Beifügung einer Stellschraube erhöht den Preis um 40 Fr.) 550 Fr.
4. Mikroskop eigenthümlicher Konstruktion, um die Höhe des Gestelles so gering als möglich zu machen nach Lacaze-Duthiers. Die Drehung findet im runden Fusse statt, der Tisch steht tiefer. Die gleichen optischen Beigaben wie in No. 3 650 Fr.
5. Mittleres, schief zu stellendes Stativ, etwas kleiner als No. 3; in Drehtisch, Einstellungs- und Beleuchtungsvorrichtungen dem vorigen ganz ähnlich, mit denselben Linsensystemen und Okularen etc., Beleuchtungslinse und einem Kasten mit Handhabe 500 Fr.
6. Mittleres vertikales Mikroskop, ähnlich No. 3, 5 Linsensysteme (1, 2, 3, 6 und 7 mit Immersion und Korrektion), 3 Okulare. Mikrometerokular. Beleuchtungslinse; in Mahagonikasten mit Handhabe 450 Fr.
 Wird statt No. 7 mit Korrektionsvorrichtung nur ein gewöhnliches System genommen 380 Fr.
7. Neues Modell für Schiefstellung. Grobe Bewegung durch Triebbad, feine durch Mikrometerschraube. Zylinderblendungen, beweglicher Spiegel, Beleuchtungslinse, 4 Systeme 1, 3, 5 und 7 mit Korrektion und Immersion. 3 Okulare. 12 verschiedene Vergrösserungen, wechselnd von 25—1400. Mahagonikasten 430 Fr.
8. Das gleiche Instrument mit den Systemen 1, 3, 5; 9 Vergrösserungen von 30—700 280 Fr.
9. Kleines Mikroskop für Schiefstellung und schiefe Beleuchtung mit doppelter Bewegung und einer Drehscheibe. Systeme 1 und 3 und 2 Okulare. Vergrösserungen 30—500. Beleuchtungslinse, Mahagonikästchen 150 Fr.
 Dasselbe Instrument mit den Systemen 1, 3 und 5, sowie 3 Okularen, 9 verschiedene Vergrösserungen von 30—700 während 200 Fr.
10. Kleines vertikales Mikroskop mit frei beweglichem Spiegel, den Systemen 1 und 3; 2 Okularen, mit Beleuchtungslinse 125 Fr.
 Mit den Systemen 1, 3 und 5, sowie 3 Okularen, 9 verschiedene Vergrösserungen von 30—700 ergebend 175 Fr.
11. Einfacheres Mikroskop mit einem Fuss aus Eisenguss, System 3 und einem Okular (Vergrösserung 380) 80 Fr.
 Dasselbe mit System 5 an der Stelle von 3 (Vergrösserung 500) 90 Fr.
12. Grosses binokuläres Mikroskop, um sowohl stereoskopische als pseudoskopische Bilder zu gewähren. Die Okulare können einander genähert oder von einander entfernt werden je nach Bedürfniss des Beobachters. Doppelte Bewegung, Schief- und Horizontalstellung. Systeme 0, 1 und 3. Beweglicher (aber nicht drehbarer) Tisch. Lupe für opake Gegenstände, Mahagonikasten 500 Fr.
13. Kleineres binokuläres Mikroskop mit Schiefstellung. Systeme 0, 1 und 3, sowohl an der einfachen Röhre des Instrumentes, wie an der Doppelröhre verwendbar. 2 Okulare, Beleuchtungslinse 350 Fr.
14. Binokuläre Vorrichtung, an jedem Instrumente anzubringen, mit Verstellung der beiden Röhren und 2 Okularen 150 Fr.
15. Binokuläre (stereoskopische und pseudoskopische) Vorrichtung an allen Instrumenten verwendbar 175 Fr.

16. Instrument mit 2 Röhren, zur Beobachtung für zwei Personen mit 3 Systemen, Beleuchtungslinse etc. 300 Fr.
17. Vorrichtung derselben Art mit 2 Röhren, um an gewöhnlichen Instrumenten angebracht zu werden, nebst 2 Okularen (aber ohne Linsensysteme) 80 Fr.
18. Mikroskop mit 3 Röhren, grober und feiner Bewegung, 3 Linsensystemen, No. 0, 1 und 3 etc. 400 Fr.
19. Grosses umgekehrtes Mikroskop mit versilbertem Spiegel. Die Entfernung zwischen Linse und Okular kann bis zu 90 Centimetern gesteigert werden. Man kann die stärksten Systeme verwenden; achromatischer Kondensor etc., 2 Okulare ohne Linsensysteme 500 Fr.
20. Umgedrehtes Stativ für Chemiker, mit vergoldetem Objektisch, 4 Linsensystemen, No. 0, 1, 3 und 5, einem beweglichen Okular, einem Goniometer, um die Winkel von Krystallen zu messen, und sonstigem Zubehör 350 Fr.
21. Neues umgekehrtes Instrument, um Objekte in Gasen und bei bestimmter Wärme zu untersuchen; 3 Systeme und 2 Okulare 500 Fr.
22. Taschenmikroskop (90 Mm. lang und 50 Mm. breit), mit den Linsensystemen No. 1, 3 und 5, einem Okular etc. 200 Fr.
23. Etwas grösseres Taschenmikroskop 180 Fr.
24. Dissektions- und Observationsmikroskop (Modell Cosson), als einfaches wie zusammengesetztes Instrument verwendbar. System 1 und 3, 1 Okular, 3 Doublets 140 Fr.
25. Gestell desselben, nur als einfaches Mikroskop verwendbar mit den 3 Doublets 50 Fr.
- 25a. Dissektionsgestell nach Blanchard mit 3 Doublets 50 Fr.
26. Dissektionsmikroskop für Laboratorien nach Robin mit Bildumdrehung sowie Vergrösserungen von 8—70 120 Fr.
27. Demonstrationsmikroskop, in der Hand zu halten 80 Fr.
28. Instrument an einer Stange für Aquarien 120 Fr.
- 28a. Instrument zur Untersuchung der Cornea und Haut, monokulär 120 Fr.
- 28b. Dasselbe binokulär 270 Fr.
29. Photographirmikroskop 300 Fr.

Preise der Linsensysteme.

1. Trockne Systeme.

a) ohne Korrektioneinrichtung.		b) mit Korrektionsapparat.	
No. 0	15 Fr.	No. 3	50 Fr.
- 1	20 -	- 4	60 -
- 2	25 -	- 5	75 -
- 3	30 -	- 6	100 -
- 4	35 -	- 7	125 -
- 5	40 -		
- 6	50 -		
- 7	80 -		

2. Immersionssysteme.

a) ohne Korrektionsvorrichtung.		b) mit Korrektionsapparat.	
No. 6	70 Fr.	No. 6	120 Fr.
- 7	100 -	- 7	150 -
		- 8	200 -
		- 9	250 -
		- 10	300 -
		- 11	350 -
		- 12	400 -

Vergrösserungen der Systeme in Verbindung mit den Okularen.

Gewöhnliche Linsensysteme.

	0	1	2	3	4	5
Okulare {	1	30	89	180	260	300
	2	40	100	260	380	420
	3	60	140	350	500	590
Aequival. Brennweite.	2"	1"	1/2"	1/4"	1/5"	1/8"
Oeffnungswinkel.	100°	150°	500°	900°	900°	1300°

Systeme mit Immersion und Korrektion.

	6	7	8	9	10	11	12
Okulare { 1	460	580	775	900	1150	1320	1700
Okulare { 2	600	900	1100	1300	1560	1800	2400
Okulare { 3	900	1400	1600	2000	2200	2650	3260
Okulare { 4	1200	1750	2000	2500	2750	3150	4500
Aequivalente Brennweite.	$\frac{1}{10}''$	$\frac{1}{14}''$	$\frac{1}{15}''$	$\frac{1}{20}''$	$\frac{1}{30}''$	$\frac{1}{40}''$	$\frac{1}{50}''$
Oeffnungswinkel.	140°	160°	175°	175°	175°	175°	175°
30. Einfaches Mikroskop							60 Fr.
31. Verbessertes stereoskopisches Dissektions-Mikroskop							150 -
32. Grösserer Lupenträger							80 -
33. Kleinerer Lupenträger mit Triebrod							15 -
34. Derselbe ohne Triebrod							8 -
35. Brücke'sche Lupe							15 -
36. Doublets, 20—5 Mm. Fokallänge							6 -
Dieselben mit einem Fokus von 5—2 Mm.							10 -
37. Objektischmikrometer in Messing gefasst, der Millimeter in 100 Theile							10 -
38. Derselbe, den Millimeter 500fach getheilt							20 -
39. - - - 1000fach getheilt							30 -
40. Camera lucida (eigenthümlicher Konstruktion)							25 -
41. Gewöhnliche Camera lucida							18 -
42. Bildumkehrendes Prisma							25 -
43. Dasselbe verbessert und mit einem Okular versehen							35 -
44. Revolvervorrichtung, zum schnellen Wechseln der Linsensysteme							25 -
45. Kondensor für gerade Beleuchtung							25 -
46. - für schiefes Licht							15 -
47. Amici'sches Beleuchtungsprisma							25 -
48. Beleuchtungsvorrichtung auf schwarzem Grunde							15 -
49. Polarisationsapparat mit zwei Nicols							40 -
50. Goniometer							30 -
51. Dissektionsapparat							60 -
52. Vereinfachter Dissektionsapparat							35 -
53. Mikrotom von Hagen							18 -
54. Kompressorium							30 -
55. Okulare							10 -
56. Sehr starkes achromatisches Okular							20 -
57. Mikrometer-Okular							15 -
58. Handlupe							8 -
59. Grosse Lupen von schwacher Vergrösserung							8—12 -
60. Coddington'sche Lupe etc. etc.							5 -

No. 3.

Preisverzeichniss der achromatischen Mikroskope von C. Verick
(Schüler Hartnack's). Rue de la Parcheminerie No. 2 in Paris.
(1872.)

(Preise in Francs.)

No. 1. Grosses Mikroskop mit vollkommenem Stativ; bewegliche binokuläre Vorrichtung, an jedes andere Instrument anzupassen. Gröbere Bewegung durch ein Triebrod, feinere durch Mikrometerschraube. Drehbarer, mit schwarzem Glas versehener Objektisch. Der Spiegel besitzt verticale und horizontale Bewegung nach vor- und rückwärts, um jede schiefe Beleuchtung zu ermöglichen. Die senkrechte Bewegung ist sehr wichtig, um die Intensität des Lichtes zu vergrössern und zu vermindern, ohne die Entfernung der Blendung zu verändern; senkrechter Blendungsträger mit verticaler Bewegung; Gelenkverbindung mit Fixirungsvorrichtung; Revolvervorrichtung zur Auswechslung der Linsen neuer Konstruktion; 6 Linsensysteme, No. 0, 2, 3, 6, 8 (Trocken-System) und No. 10 (mit Immersion und Korrektion); 3 Okulare, Nr. 1, 2 und 3 (No. 2 mit Mikrometer und Stellschraube). Diese optischen Kombinationen gewähren lineare Vergrösserungen von 18—1200.

- Grosse Beleuchtungslinse auf einem Stativ. Nebenapparate, Objektträger und Deckplättchen. Kasten von Mahagoniholz mit Handgriff 980 Fr.
- No. 2. Grosses Mikroskop, nur von einfacherer Konstruktion. Grobe und feine Bewegung wie bei No. 1. Der obere Theil der Röhre ist ausziehbar, um die richtige Stellung von Linsensystemen und Okularen zu gewinnen. Drehbarer, mit schwarzer Glasplatte bedeckter Objektisch. Spiegel mit derselben Beweglichkeit, wie bei No. 1. Beweglicher Blendungsträger. Einrichtung für Schiefstellung wie bei No. 1. 5 Objektivsysteme, nämlich 0, 2, 6, 7 (Trocken-Systeme) und 10 (mit Immersion und Korrektion). 3 Okulare, No. 1, 2 und 3 (No. 2 mit Mikrometer und Stellschraube). Vergrösserungen von 18—1200. Beleuchtungslinse wie bei No. 1. Die nämlichen Nebenapparate und derselbe Kasten 750 Fr.
- No. 3. Mittleres Mikroskop. Die nämliche doppelte Bewegungsvorrichtung, ausziehbares Rohr, drehbarer Tisch mit schwarzer Glasplatte; schiefe Beleuchtung wie bei den grösseren Stativen; der Blendungsträger senkrecht beweglich. Schiefstellung mit Hemmungsvorrichtung. Linsensysteme No. 0, 2, 6, 8 (Trockensysteme); 3 Okulare (No. 1, 2 und 3, 2 mit Mikrometer). Beleuchtungslinse, Nebenapparate, Kasten wie oben. 500 Fr.
Dasselbe Stativ ohne das Triebrad 500 Fr.
- No. 4. Kleinstes Instrument. Drehbarer Objektisch, belegt mit schwarzer Glasplatte. Grobe Bewegung durch eine Hülse, feine durch Mikrometerschraube, mit schiefer Beleuchtung und Schiefstellung. Linsensysteme No. 0, 2, 6 und 7, Okulare 1, 2, 3 (2 mit Mikrometer), Beleuchtungslinse etc. 390 Fr.
Dasselbe Instrument mit Stellschraube und den nämlichen optischen Bestandtheilen 440 Fr.
- No. 5. Stativ mit nicht drehbarem schwarzem Glastisch; doppelte Bewegung, schiefe Beleuchtung. Linsensysteme 2, 6 und 7, Okulare 1 und 3. Vergrösserung von 60—780; Schiefstellung; kleinere Beleuchtungslinse etc. 260 Fr.
Dasselbe Instrument mit Stellschraube 310 Fr.
- No. 6. Zweisäuliges Mikroskop für Laboratorien 165 Fr.
- No. 7. Hufeisenstativ für Studierende ohne Schiefstellung; doppelte Bewegung; schiefe Beleuchtung. Linsensystem No. 2 und Okular No. 1; Vergrösserung von 60—100 etc. 95 Fr.
Mit System 6 105 Fr.
- No. 8. Reise- und Taschenmikroskop ohne optischen Apparat 80 Fr.

Preise der Linsensysteme und Angabe ihrer Vergrösserungen.

System	Okular 1		2		3		4		Preis	Aequivalente Brennweite in engl. Zollen
No. 00	12	16	—	—	—	—	—	—	20 Fr.	2 1/2
- 0	18	25	30	50	40	75	45	85	20 -	2
- 1	30	35	60	100	90	140	100	170	25 -	1
- 2	60	100	80	150	120	220	130	250	25 -	1/2
- 3	80	160	110	210	170	290	200	350	35 -	1/4*
- 4	130	210	170	300	250	430	290	520	35 -	1/4
- 6	170	290	220	400	330	570	550	650 (?)	35 -	1/6
- 7	250	400	300	550	480	780	550	800	40 -	1/9
- 7(neu)	—	—	—	—	—	—	—	—	75 -	1/9
- 8	310	500	420	720	570	880	600	1050	60 -	1/11

Neue Linsensysteme mit Immersion und Korrektion.

No. 8	260	440	350	620	500	880	610	950	90 Fr.	1/11
- 9	310	580	400	670	550	950	670	1200	120 -	1/12
- 10	330	600	450	760	620	1120	800	1300	150 -	1/16
- 11	380	700	500	880	690	1200	900	1500	200 -	1/18
- 12	450	800	550	950	750	1300	1070	1690	250 -	1/21

(Es sind hierbei die Vergrösserungen, welche das verkürzte und verlängerte Rohr gewähren, stets getrennt aufgeführt).

Ranvier's Mikrotom für thierische Objekte	12 Fr.
Rivet's Mikrotom für pflanzliche Objekte	30 -
Künckel's Lupenträger	40 -
Malassez' Apparat zur Zählung der Blutzellen mit quadratischem Okularmikrometer.	60 -
Bildumdrehende binokuläre Vorrichtung	180 -
Okulare.	10 -
Holosterisches Okular	18 -
Mikrometer-Okular	20 -

Photographische Vorrichtung.	50 Fr.
Objektisch-Mikrometer in 100	15 -
- in 500	20 -
- in 1000	30 -
Verbesserter Drehtisch.	60 -
Neues Kompressorium.	35 -
Polarisationsapparat.	45 -
Polarisationsapparat mit polarisirendem und einen Gradbogen führendem Okulare	60 -
Horizontal beweglicher Mikrometer.	50 -
Verbesserter Beleuchtungsapparat von Dujardin	45 -
Goniometer.	50 -
Chambre claire von Oberhäuser	50 -
- von Milne Edwards und Doyère	35 -
- von Mathissen	20 -
Lupen.	25-8 -

No. 4.

Preisverzeichniss der Mikroskope von Carl Zeiss in Jena.
1874.

(Preise in Mark.)

Objektiv-Systeme und Okulare.

No.	System	Oeff- nungs- winkel	Aequivalent- Brennweite.	Vergrößerung bei 155 Mm. Tubuslänge für 250 Mm.? Sehweite mit Okular					Preis	
				1	2	3	4	5	Mark	
1	Trocken-Systeme	a	30, 45, 60 mm	5 bis 20					12	
2		aa	200	32 mm	18	25	40	50	70	27
3		A	200	16 mm (2/3" engl.)	45	60	85	110	150	24
4		AA	330							30
5		B	400							30
6		BB	600	10 mm (2/5")	70	95	125	160	220	42
7		C	480	6,4 mm (1/4")	110	140	200	260	350	36
8		CC	900							48
9		D	720							42
10		DD	1000	4,2 mm (1/6")	180	220	300	400	550	54
11		E	1050	2,8 mm (1/9")	240	330	450	600	840	66
12		F	1050	1,8 mm (1/14")	380	500	720	950	1400	84
13	Immer- sions- Systeme	No. 1	1800	3,0 mm (1/8")	220	300	420	560	790	90
14		No. 2	1800	1,7 mm (1/15")	400	530	760	1020	1500	144
15		No. 3	1800	1,0 mm (1/25")	680	900	1300	1700	2300	277
				incl. Korr.						
O k u l a r e				1	2	3	4	5	7	
Aequivalent-Brennweite				52 mm	45 mm	33 mm	25 mm	18 mm		

Bemerk.: Die hier aufgeführten Objektive werden sämtlich nach den Rechnungen des Herrn Professor Abbe in Jena und unter dessen beständiger Mitwirkung konstruiert. Die Grundsätze, welche dabei zur Richtschnur dienen, hat derselbe in M. Schultze's Archiv f. mikrosk. Anatomie Bd. IX (Beiträge zur Theorie des Mikroskops etc.) dargelegt.

Die schwächeren und mittleren Objektive, bis zu ca. 4 Mm. Brennweite, werden, um den verschiedenen Bedürfnissen Rechnung zu tragen, je in zwei Formen ausgeführt. Diejenigen mit kleinerem Oeffnungswinkel — durch einfache Buchstaben bis D bezeichnet — sind vermöge ihres grösseren Objektabstandes und ihrer geringeren Empfindlichkeit gegen die Dicke der Präparate und der Deckgläser zu Arbeitssystemen vorzugsweise geeignet. Die mit den doppelten Buchstaben bezeichneten mit grösserem Oeffnungswinkel besitzen bei je gleicher Vergrößerung und gleicher Vollkommenheit der Definition ein bedeutend gesteigertes Unterscheidungs- (Auflösungs-) Vermögen; desshalb gewährt jedes einzelne von ihnen, zumal sie die stärkeren Okulare sehr gut vertragen, einen weiter gehenden Spielraum in der nutzbaren Vergrößerung als das entsprechende System der ersten Art. — Uebrigens ist auch bei diesen Objektiven mit grosser Oeffnung (zu welchen diejenigen mit kürzerer Brennweite als D sämtlich gehören) der freie Objektabstand selbst bei den stärksten Nummern relativ beträchtlich, so dass z. B. mit dem letzten Immersionssystem (No. 3) Deckgläser über 1/5 Mm. Dicke noch bequem benutzt werden können.

Die Objektive sind sämmtlich an Trichtern, die das englische Tubusgewinde (Society-screw) tragen. Sie werden für gewöhnlich in zylindrischen Messingbüchsen abgegeben. Bei Bestellung von 5 und mehr Systemen wird jedoch auf Wunsch der Besteller ohne Preiserhöhung statt der Büchsen ein besonderes verschliessbares Etui geliefert, in welchem die Objektive, mit ihren Gewinden nebeneinander aufgeschraubt, zusammen Platz haben.

Das Immersionssystem No. 3 wird stets mit Korrektionsfassung angefertigt. Bei den übrigen Objektiven wird eine solche — da sie bei diesen im gewöhnlichen Gebrauch ohne Nachtheil entbehrt werden kann — nur auf besondere Bestellung und gegen eine Preiserhöhung um je 20 Mark geliefert. Die sehr sorgfältig ausgeführten Korrektionsfassungen sind so eingerichtet, dass die unterste Linse unbewegt bleibt; daher man die Korrektion während der Beobachtung handhaben kann, ohne das Bild aus dem Auge zu verlieren. Die jeder Stellung entsprechende Deckglasstärke ist am Korrektionsringe in Hunderttheilen des Millimeters abzulesen. — Bei den stärkeren Objektiven mit fester Fassung (von CC ab) ist diejenige Deckglasdicke, für welche jedes die vollkommenste Korrektion besitzt, mit kleinen Ziffern seitlich an der Fassung angegeben. Meist bedarf es jedoch keiner besondern Rücksicht hierauf, da jene Deckglasdicke (0,15–0,20 Mm.) diejenige der gangbaren Deckgläser ist und die vorkommenden Unterschiede beim Beobachten mit geradem Licht kaum bemerkbar werden. Die beiden schwächeren Immersionslinsen namentlich sind in diesem Punkte am wenigsten empfindlich.

System a ist eine einzelne achromatische Linse, welche je nach Bestellung in einer der drei angegebenen Brennweiten geliefert wird. Diese Linsen, vorzugsweise zum Zeichnen mit sehr geringer Vergrösserung sowie zum Präpariren bestimmt, sind so gefasst, dass bei ihrem Gebrauch das Okular des Mikroskops nicht höher zu stehen kommt als beim Beobachten mit den stärkeren Systemen.

Die Angaben der Tabelle über den Oeffnungswinkel der Objektive für Luft als äusseres Medium charakterisiren die Immersionssysteme in sofern nicht vollständig, als dabei die wirkliche Oeffnung einen Strahlenkegel umfasst, der in der Wasserschicht 104–108° einnimmt, während ein solcher von ca. 96° schon den 180° in Luft entsprechen würde.

Objektive von kürzerer Brennweite als 1 Mm. fertige ich deshalb nicht, weil die Theorie des Mikroskops — in Uebereinstimmung mit allen Erfahrungen — ausser Zweifel stellt, dass durch solche Linsen keine weitere Steigerung des optischen Vermögens erzielt wird. (S. M. Schultze's Archiv f. mikr. Anat. Bd. IX. S. 467; vergl. H. Helmholtz, über d. theoret. Grenze der Leistungsfähigk. d. Mikroskope. Poggend. Ann. Jubelband, S. 557.)

Die in der umstehenden Tabelle mit 3, 4, 5 numerirten Okulare entsprechen den Nummern 24, 3, 4 meiner früheren Preiskourante.

Die Objektive werden jederzeit auch einzeln zu den beigesetzten Preisen abgegeben. Zur Anpassung derselben an fremde Mikroskope wird, bei Einsendung des Tubus, das etwa erforderliche Zwischen-
gewinde exakt angefertigt.

Stative.

- No. 16. Stativ O. Grösstes Hufeisenstativ, zum Umlegen eingerichtet nach Art der englischen Stative; drehbarer Tisch, gewölbte Blendungsscheibe, deren Oeffnungen dicht unter der Tischebene liegen; Plan- und Hohlspiegel nach einer mir eigenthümlichen Einrichtung nicht nur nach der Seite, sondern auch nach vorne beweglich, um von jeder Seite schiefes Licht geben zu können; grobe Einstellung durch Verschieben des Tubus, feine durch Mikrometerschraube; Höhe des Okulars über der Standfläche des Instruments 30 Cm. 150 Mark
- 17. Stativ I. Grosses Hufeisenstativ mit festem Tisch; Blendungs-, Beleuchtungs- und Einstellungsrichtung wie bei No. 16; Höhe des ganzen Instruments 28 Cm. 75 Mark
- 18. Stativ Ib. Wie Stativ I, jedoch mit Tischdrehung um die verticale Axe; Höhe 29 Cm. 108 Mark
- 19. Stativ II. Schwerer viereckiger Fuss, fester Tisch; die ganze übrige Einrichtung wie bei den vorhergehenden Nummern, nur in etwas kleineren Dimensionen; Höhe 27 Cm. 60 Mark
- 20. Stativ IIIb. Kleines Hufeisenstativ mit festem Tisch; sonst wie oben; Höhe 26 Cm. 48 Mark
- 21. Stativ IIIc. Schwerer viereckiger Fuss; Tischdrehung um die verticale Axe; Spiegel etc. wie oben 75 Mark
- 22. Stativ IV. Runder Fuss, fester Tisch, gewölbte Blendungsscheibe; Hohlspiegel seitlich aus der Axe verstellbar; feine Einstellung am Tubus 39 Mark
- 23. Stativ V. Runder Fuss, fester Tisch ohne Blendungsapparat; Spiegel nicht ausser der Axe beweglich; Einstellung nur durch Verschieben des Tubus . . . 18 Mark
- 24. Stativ Vb. Wie die vorangehende Nummer, aber mit feiner Einstellung am Tisch . . . 23 Mark
- 25. Salonmikroskop; der Tubus in freier Hand gegen das Tageslicht zu halten; mit grossem Hohlspiegel aus Neusilber; — für Demonstrationen im Auditorium. Nur für die Objektive A, B, C geeignet 18 Mark

Bemerk. Die Stative O, I, Ib bilden die grossen, II ein mittleres und IIIb, IIIc, IV, V und Vb die kleineren Instrumente. — Bei den drei grossen Stativen wird auf Wunsch der Besteller Zahn und Trieb zur groben Einstellung angebracht gegen eine Preiserhöhung von 12 Mark, und der Tubus zum Ausziehen eingerichtet für 9 Mark. Ebenso wird gegen einen Aufschlag von 18 Mark auch Stativ I und Ib zum Umlegen um eine horizontale Axe konstruirt. Bei Stativ V und Vb ist der Trichter im Tubus fest, und trägt ein enges Gewinde, mit welchem die Linsen unmittelbar angeschraubt werden; bei allen übrigen Stativen führt der Tubus das an den Trichtern der Objektive befindliche englische Gewinde (society screw) und erhält für gewöhnlich die feste Länge von 155 Mm.

Sämmtliche Stative von O bis IV incl. werden in polirten und verschliessbaren Mahagonikasten, V und Vb in polirten Etuis aus Eichenholz geliefert. Diese Etuis sind in den angegebenen Preisen der Stative mit inbegriffen.

Änderungen an Stativen aus andern Werkstätten können — abgesehen von der Herstellung eines Zwischenstückes am Tubus zur Anpassung meiner Linsen — nicht übernommen werden.

Hilfsapparate zum zusammengesetzten Mikroskop.

- No. 26. Beleuchtungsapparat nach Prof. Abbe. (S. M. Schultze's Arch. f. mikr. Anat. Bd. IX, S. 469; desgl. Flora, 1873 Nr. 32), Kondensor mit Blendungsvorrichtung, welche alle Modifikationen der geraden und schiefen Beleuchtung im gewöhnlichen durchfallenden Licht und zugleich die Beobachtung positiver Bilder in dunklem Gesichtsfeld bis zu 600facher Vergrößerung gestattet; zu leichtem Wechseln mit dem gewöhnlichen Hohlspiegel eingerichtet. Wegen des erforderlichen Raumes nur an Stativ O und I anzubringen 54 Mark
- 27. Beleuchtungsapparat für homogenes farbiges Licht; nach Hartnack. Prismen, Linsen und Spalt mit einander fest verbunden in einem Gehäuse, welches von unten in den Tisch des Mikroskops eingesetzt wird. Das Spektrum wird in der Einstellungsebene des Mikroskops entworfen und ist in dieser verschiebbar, so dass nach Belieben jede Farbe zur Beleuchtung des Sehfeldes verwandt werden kann. In Etui 75 Mark
- 28. Beleuchtungslinse auf Stativ, 80 Mm. Durchmesser, halbkugelförmig; in Etui 36 Mk.
- 29. Dieselbe 60 Mm. im Durchmesser 27 Mark
- 30. Beleuchtungslinse von 40 Mm. Durchmesser, mit einem Ring am Tubus des Mikroskops verschiebbar 12 Mark
- 31. Revolver, für zwei Objektive; nur für die grossen Stative verwendbar 18 Mark
- 32. Spektralocular à vision directe, nach Sorby und Browning, zur Beobachtung der Absorptionsspektren mikroskopischer Präparate. — Spalt (S' Graves and'sche Schneiden) im Okular; mit Vergleichungsprisma. Amici'sches Prisma aus 5 einzelnen Prismen über dem Okular aufzusetzen. In Etui 84 Mark
- 33. Dasselbe, ohne Vergleichungsprisma 72 Mark
- 34. Polarisationsapparat. Polarisator mit Kondensorlinse; separate Drehung des Objekts und Einrichtung zum Einlegen von Gyps- und Glimmerplättchen. Analysator mit geradflächigem Prisma, im Tubus mit dem Okular drehbar . . . 54 Mark
- 35. Derselbe, etwas einfacher für die kleineren Stative 42 Mark
- 36. Kollektion von Gyps- und Glimmerplättchen, nach Mohl 12 Mark
- 37. Goniometer, Extra-Okular mit Theilkreis, durch Nonius 10' angehend 45 Mark
- 38. Camera lucida zum Zeichnen, mit zwei Prismen; in Etui 21 Mark
- 39. Camera lucida nach Oberhäuser; in Etui. 40 Mark
- 40. Okularmikrometer, zum Einlegen in die Okulare; 5 Mm. in 50 Theile getheilt; in Etui 6 Mark
- 41. Mikrometerokular, Okular 2 mit obigem Mikrometer in fester Fassung 15 Mark
- 42. Objektivmikrometer, auf einem Objektträger 1 Mm. in 100 Theile getheilt, in Etui. 12 Mark
- 43. Deckglastaster, zur Messung der Dicke der Deckgläser; Nonius direkt 0,1 Mm. angehend, Schätzung bis 0,02 Mm. 9 Mark
- 44. Testplatte nach Prof. Abbe, zur Prüfung der Objektive auf die sphärische und chromatische Korrektur. 6—7 Deckgläser von abgestufter Dicke, mit Liniengruppen in einer dünnen Silberschicht, neben einander auf einem Objektträger (Flora 1873, No. 32) 3 Mark

Vollständige Mikroskope.

Zur Bequemlichkeit der Besteller ist im Folgenden eine Anzahl von zweckmässig erscheinenden Kombinationen, den verschiedenartigsten Bedürfnissen angepasst, zusammengestellt. — Für diese, sowie für andere nach eigener Auswahl bestellte Kombinationen ergibt sich der Preis durch Summation der Preise für die einzelnen Artikel.

- No. 45. Stativ O, mit ausziehbarem Tubus und mit Zahn und Trieb zur groben Einstellung; Objektive a, aa, AA, B, BB, C, DD, E, F mit Korrektur, Immersionslinsen No. 1, 2 mit Corr., und 3; 5 Okulare. Vergrößerungen von 5 bis 2300. Dazu Kondensor, Spektralocular, Zeichenprisma, Polarisationsapparat sammt Gyps- und Glimmerplättchen, Mikrometerokular, Objektivmikrometer, Deckglastaster und Compressorium. 1410 Mark
- 46. Stativ O der gewöhnlichen Konstruktion; Objektive aa, AA, BB, C, DD, F, Immers. No. 1, 2 u. 3; 5 Okulare; Vergrößerung von 8—2300. Dazu Zeichenprisma, Polarisationsapparat mit Gyps- und Glimmerplättchen, Mikrometerokular, Objektivmikrometer 1076 Mark
- 47. Stativ O; Objektive aa, AA, BB, C, DD, F, Immers. No. 1 und Immers. No. 3; 5 Okulare; Vergr. von 18—2300. Ohne Nebenapparate 818 Mark
- 48. Stativ Ib, mit den Objektiven, Okularen und Nebenapparaten wie bei No. 46. Vergr. von 18—2300 1034 Mark
- 49. Stativ Ib, mit den Objektiven aa, AA, BB, C, DD, F Immers. No. 1 und No. 2 mit Korr. 5 Okulare; Vergr. 18—1500 670 Mark
- 50. Stativ Ib, Objektive A, CC, E, Immers. No. 2; 5 Okulare; Vergr. 20—1500. 425 Mark

- No. 51. Stativ I, Objektive AA, C, DD, F, Immers. No. 1 und 3, 5 Okulare; Vergr. von 45—2300. Dazu Kondensor, Polarisationsapparat mit Gyps- und Glimmerplättchen, Zeichenprisma, Mikrometerokular, Objektivmikrometer 842 Mark
- 52. Stativ I, Objective a, AA, C, DD, F, Immers. No. 1 und 3; 5 Okulare; Vergr. 5—2300 686 Mark
- 53. Stativ I, Objektive aa, BB, DD, Imm. No. 2; 5 Okulare; Vergr. 18—1500 377 Mark
- 54. Stativ I, Objektive A, CC, Immers. No. 1; 4 Okulare; Vergr. 30—790. 265 Mark
- 55. Stativ I, Objektive A, CC, F; 3 Okulare; Vergr. 30—1400 252 Mark
- 56. Stativ I, Objektive A, BB, DD; 3 Okulare; Vergr. 30—550 216 Mark
- 57. Stativ II, Objektive A, CC, E, Imm. No. 2; 4 Okulare; Vergr. 30—1500 370 Mark
- 58. Stativ II, Objektive A, BB, DD, Imm. No. 1; 3 Okulare; Vergr. 30—790 291 Mark
- 59. Stativ II, Objektive A, CC, E; 3 Okulare; Vergr. 30—840 219 Mark
- 60. Stativ II, Objektive AA, DD; 3 Okulare; Vergr. 60—550 165 Mark
- 61. Stativ II, Objektive A, D; 2 Okulare; Vergr. 30—400 140 Mark
- 62. Stativ III^b, Objektive aa, CC, F; Imm. No. 2; 4 Okulare; Vergr. 18—1500 379 Mark
- 63. Stativ III^b, Objektive a, AA, BB, DD, Imm. No. 1; 4 Okulare; Ver. 15—550 304 Mark
- 64. Stativ III^b, Objektive AA, DD; 3 Okulare; Vergr. 60—550 153 Mark
- 65. Stativ III^c, Objektive a, AA, CC, E, Imm. No. 2; 4 Okulare; Ver. 15—1500 403 Mark
- 66. Stativ III^c, Objektive A, CC, Imm. No. 1; 3 Okulare; Vergr. 30—790 258 Mark
- 67. Stativ III^c, Objektive AA, C, F; 3 Okulare; Vergr. 60—1400 246 Mark
- 68. Stativ IV, Objektive A, D; 3 Okulare; Vergr. 30—550 126 Mark
- 69. Stativ IV, Objektiv CC; 2 Okulare; Vergr. 140 u. 360 101 Mark
- 70. Stativ IV, Objektiv BB; 2 Okulare; Vergr. 95 u. 220 95 Mark
- 71. Stativ V^b, Objektiv A u. D; 2 Okulare; Vergr. 60—550 103 Mark
- 72. Stativ V^b, Objektiv C; 2 Okulare; Vergr. 140 u. 360 73 Mark
- 73. Stativ V^b, Objektiv A; Okular 2 oder 4; Vergr. 30 u. 60 oder 50 u. 110 54 Mark
- 74. Stativ V, Objektiv A; Okular 2 oder 4; Vergr. 30 u. 60 oder 50 u. 110 49 Mark

NB. Bei Angabe der Vergrößerung in obigen Kombinationen ist überall da, wo A das schwächste Objektiv der Kombination vorstellt, die Vergrößerung mit in Anschlag gebracht, welche die oberste Linse dieses Systems, für sich allein gebraucht, gewährt; das so erhaltene Bild ist für das gewöhnliche Bedürfniss völlig brauchbar.

Mit den beiden kleinsten Stativen V und V^b stärkere Linsen als höchstens C, oder solche mit grossem Oefnungswinkel zu verbinden, ist wegen der beschränkten Spiegelbewegungen an diesen Stativen unvortheilhaft

Präparirmikroskope und Lupen.

- No. 75. Grosses Präparirmikroskop. Schwerer viereckiger Fuss, grosser Tisch, an welchem lederüberzogene Präparirbacken angesteckt werden; Einstellung durch Zahn und Trieb; beweglicher Hohlspiegel, der sich auch zur Beleuchtung von oben verwenden lässt. — Das zugehörige optische System besteht in einem Objektiv aus drei achromatischen Linsen und konkavem Okularglase. Das Objektiv kann entweder mit allen drei Linsen, oder mit den beiden oberen, oder mit der obersten allein benutzt werden, wodurch Vergrößerungen von 100, 60, 40 erzielt werden. Ein beigegebenes schärferes Okularglas steigert die Vergrößerung auf 150, während die Objektivlinsen, einzeln benutzt, Lupen von ausgezeichneter Schärfe mit 30-, 20-, 15facher Vergr. abgeben. Der Fokalabstand ist bei den zwei höchsten Vergrößerungen der ganzen Kombination noch 9 Mm., bei den schwächeren beträchtlich grösser, bis 27 Mm. (Vergl. Max Schultze's Archiv für mikr. Anatomie, Bd. VI 1869). Das Ganze in verschliessbarem Kästchen mit Handhabe 80 Mark
- 76. Das Linsensystem allein, zum Gebrauche mit andern Stativen, in besonderem Etui 30 Mark
- 77. Präparirmikroskop nach meiner älteren Einrichtung; fester Tisch, Einstellung der Linsen durch Verschiebung und Schraube, drehbarer Planspiegel. Dazu vier Doublets von 15, 30, 60 und 120facher Vergrößerung. Polirtes Etui mit Messingmutter zum Aufschrauben des Instruments 48 Mark
- 78. Dasselbe sammt einer Lupe von 5 und 10facher Vergrößerung 54 Mark
- 79. Dasselbe Stativ mit 15, 30 und 6fach oder mit 5, 10, 30 und 60fach vergrössernden Doublets 39 Mark
- 80. Präparirfuss von polirtem Nussbaumholz mit Messingmutter zum Aufschrauben dieses Instruments und mit Backen zum Auflegen der Hände 3 Mark
- 81. Das Stativ von No. 77 sammt Doublets von 5, 10 und 30facher oder von 5, 10 und 60facher Vergrößerung ohne Etui auf Präparirfuss zu schrauben 27 oder 30 Mark
Die Doublets einzeln in besonderem Etui:
- 82. 15 und 30fache Vergrößerung jedes 6 Mark
- 83. 60 und 120fache Vergrößerung jedes 9 Mark

- No. 84. Triplet von 200facher Vergrößerung in Etui 18 Mark
 - 85. Triplet von 300facher Vergrößerung in Etui 24 Mark
 NB. Obige Doublets und Triplets passen in alle von mir bisher gefertigten Stative des einfachen Mikroskops.
 - 86. Aplanatische Lupen, nach dem Prinzip der Steinheil'schen, in die Stative der beiden Präparirmikroskope passend, von 10 und 20facher Vergr.; jede 12 Mark
 - 87. Präparirlupe mit grossem Fokalabstand (8 Cm.), nach dem Prinzip der Brücke'schen Lupe (6fache Vergr.) in Etui 11 Mark
 - 88. Präparirlupe, nach demselben Prinzip, mit zwei achromatischen Linsen, welche zusammen gebraucht 30fach vergrössern (bei 25 Mm. Fokaldistanz), während die obere Linse allein 15malige Vergr. mit 60 Mm. Abstand giebt 21 Mark
 - 89. Stativ mit Kugelgelenken zu obigen Lupen 18 Mark
 - 90. Eine Reihe anderer Lupen etc.

Utensilien zur Präparation.

- No. 91. Kleine Luftpumpe zu mikroskopischen Zwecken; eingerichtet, um das Objekt mit Objektträger und Deckglas in den Rezipienten zu bringen, während des Pumpens mit einem Spiegel von unten zu beleuchten und von oben mit der Lupe zu betrachten. Incl. Etui und einer Lupe 45 Mark
 - 92. Mikrotom zum Anfertigen feiner Schnitte von bestimmter Stärke und bis zur äussersten Feinheit, in Etui mit dazu eigens geschliffenem Messer . . . 48 Mark
 - 93. Kompressorium nach Schacht, mikroskopischer Quetscher, so eingerichtet, dass man den Gegenstand zugleich mit der Objekt- und Deckplatte, so wie man ihn früher zur Beobachtung hatte, zwischen den Quetscher und mit solchem zurück unter das Mikroskop bringen kann. In Etui 18 Mark

No. 5.

Preisverzeichniss der Mikroskope von Seibert und Krafft (E. Gundlach's Nachfolgern) in Wetzlar. 1876.

(Preise in Mark).

Mikroskope.

- No. 1. Grosses binokuläres stereoskopisches Mikroskop. Auf dem grossen massiven Messingfuss erheben sich zwei massive Arme; auf denen mittelst horizontaler Axe der ganze Körper ruht, und von der senkrechten bis zur horizontalen in jede beliebige Richtung gebracht werden kann. Auch kann der Körper um die optische Axe gedreht werden, während der Beleuchtungsapparat stehen bleibt.

Der stereoskopische Doppeltubus ist abnehmbar und durch einen einfachen zu ersetzen. Der Abstand der beiden stereoskopischen Okulare kann durch ein gemeinschaftliches Triebwerk dem Abstand der Augen entsprechend regulirt werden. Der Tubus ist mit drei Einstellungsbewegungen versehen: der schnellen Bewegung (grobe Einstellung), welche mittelst Triebwerkes bewirkt wird; der mittleren, zur genauen (feinen) Einstellung für die Vergrößerungen bis 500fach; und der höchst langsamen Bewegung, zur genauen Einstellung für die stärksten Vergrößerungen. Die beiden letzteren Bewegungen sind ohne Friktion — eine neue eigenthümliche Konstruktion, durch welche das bei allen bisherigen, dem gleichen Zwecke dienenden Einrichtungen für die Dauer unvermeidliche Hin- und Herrücken des Bildes, sowie auch der sogenannte todte Gang der Schraube, für immer beseitigt, und überdies eine sehr leichte und sanfte Drehbarkeit der Schraube erreicht ist.

Der Blendungs-Apparat (sogenannte Zylinderblendung) ist an einem Schlitten angebracht, um den ganzen Apparat nach Bedürfniss entfernen zu können, und ist mit doppelter vertikaler Bewegung versehen, deren eine mittelst eines Hebels ausgeführt wird. Hierzu 6 Diaphragmen, von denen eines mit feinem Schlitz für schiefes Licht und eines mit Zentralblende. Der grosse Doppelspiegel (Hohl- und Planspiegel) kann senkrecht, nach beiden Seiten und nach vorne bewegt werden.

Der Objektisch ist mit Glas eingelegt.

Zu diesem Instrumente gehören: ein mittelst feiner Schrauben beweglicher

Objekttisch, welcher nach Belieben aufgesetzt und abgenommen werden kann (No. 22); ein für den gewöhnlichen wie für den doppelten Tubus passender „Revolver-Objektivträger“ für fünf Objektive (No. 21); ein mittelst feiner Schraube bewegliches Okular-Glasmikrometer (No. 20); ein Polarisations-Apparat mit Theilkreis (No. 18); ein *Oberhäuser'scher* Zeichnungsapparat (No. 16); eine grosse Beleuchtungslinse für opake Objekte (No. 23); Kondensator mit 3 Zentralblenden; ein Kompressorium (No. 29); ein Objekttisch-Mikrometer (No. 30).

Die Objektive No. 00, 0, I, II, IV, V^b, VI^b, VII^b, VIII, IX und X, Okulare No. 0, perisk. No. I, II und III (Vergrösserungen von 10—4400fach); Testobjekte, Objektträger mit hohlem Ausschliff, gewöhnliche Objektträger, Deckgläser etc. Alles in einem starken, mit Messing beschlagenen und zum bequemen Tragen eingerichteten Mahagonikasten enthalten, die Objektive in einem besonderen Lederetui 1590 Mark

- No. 2. Grosses Mikroskop. Drehbarer, mit Gradtheilung sowie mit Stellschrauben zur Korrektur der Centrirung versehener Objekttisch; Gelenk zur Schiefstellung und Fixirung in jeder Position; Auszugtubus; grosser massiver Messingfuss. Die schnelle Bewegung des Tubus wird mittelst Triebwerkes bewirkt, die genaue Einstellung mittelst feiner Schraube, deren Handknopf sich unter der Tubussäule befindet. Diese Bewegung ist ohne Friktion (siehe No. 1). Der Doppel- (Hohl- und Plan-) Spiegel kann senkrecht und nach beiden Seiten hin bewegt werden. Zylinderblendung mit Schlitten und doppelter vertikaler Bewegung wie No. 1 (hierzu 4 Diaphragmen). Hierzu: Revolver-Objektivträger für 4 Objektive (No. 21); beweglicher Objekttisch (No. 22); bewegliches Okular-Glasmikrometer (No. 20); Polarisations-Apparat mit Theilkreis (No. 18); *Oberhäuser'scher* Zeichenapparat (No. 16); grosse Beleuchtungslinse (No. 23); Kondensator mit 3 Zentralblenden; Objektive No. 0, I, II, IV, V^b, VI^b, VII^b und IX. Okulare No. 0, I, perisk. No. II und III (Vergrösserungen von 18—2880fach); Testobjekte, Objektträger, Deckgläser. Das Ganze ist in einem starken Mahagonikasten enthalten, die Objektive in besonderem Lederetui 915 Mark

Das gleiche Instrument mit den Objektiven No. 0, I, II, IV, V^a, VI^b, VII^b, und VIII (Vergrösserungen von 18—2000fach) 810 Mark

Das gleiche Instrument mit folgendem Zubehör: Revolver-Objektivträger für 4 Objektive; Polarisations-Apparat mit Theilkreis; *Oberhäuser'scher* Zeichnungsapparat; bewegliches Okularmikrometer; Kondensator mit 3 Zentralblenden. Objektive No. 0, I, II, IV, V^a und VII^b, Okulare No. 0, I und III (Vergrösserung 18—1375fach); Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc. 552 Mark

Das gleiche Instrument ohne Nebengeräthe; mit den Objektiven I, II, IV, V^a und VII^b, Okularen 0, I und III, letzteres mit Mikrometer (Vergrösserung 30—1375fach), Kondensator, Testobjekten, Objektträgern, Deckgläsern etc. 390 Mark

- 3. Mittleres Mikroskop; mit Gelenk zur Schiefstellung wie No. 2; drehbarer, mit Stellschrauben zur Korrektur der Zentrirung versehener Objekttisch; massiver Messingfuss. Schnelle Bewegung des Tubus mittelst Triebwerkes, genaue Einstellung mittelst feiner Schraube, deren Handknopf sich unter der Tubussäule befindet (Bewegung ohne Friktion's. No. 1). Cylinderblendung mit Schlitten und einfacher vertikaler Schiebung (hierzu 3 Diaphragmen); Hohl- und Planspiegel, nach beiden Seiten und senkrecht beweglich. Hierzu die Objektive No. I, II, IV, V^b, VI^b und VIII, die Okulare No. 0, I und III, letzteres mit Mikrometer zum Einschieben (Vergrösserung 30—2000fach); Kondensator, Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc. In starkem Mahagonikasten; die Objektive in besonderem Lederetui 465 Mark

Das gleiche Instrument mit den Objektiven I, II, IV, V^a und VII^b. Okulare 0, I und III, letzteres mit Mikrometer (Vergrösserung 30—1375fach); Kondensator, Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc. Objektive in Lederetui . . . 330 Mark

- 4. Mittleres Mikroskop mit Gelenk zur Schiefstellung; massiver Messingfuss. Cylinderblendung mit Schlitten (hierzu 3 Diaphragmen); Hohl- und Planspiegel nach beiden Seiten hin und senkrecht beweglich; fester (nicht drehbarer) Objekttisch. Schnelle Bewegung des Tubus durch freie Schiebung; genaue Einstellung mittelst feiner Schraube, deren Handknopf sich unter der Tubussäule befindet (Bewegung ohne Friktion, siehe No. 1). Hierzu die Objektive No. I, II, IV, V^a und VII^b, Okulare No. 0, I und III; letzteres mit Mikrometer zum Einschieben (Vergrösserung 30—1375fach); Kondensator, Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc. In starkem Mahagonikasten; die Objektive in besonderem Lederetui 300 Mark

Das gleiche Instrument mit den Objektiven No. I, III, V^a und VII^a, Okularen 0, I und III; letzteres mit Mikrometer zum Einschieben; Vergrösserung 30—1375fach; Kondensator, Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc. 258 Mark

- 5. Mittleres festes Mikroskop (ohne Schiefstellung); massiver Messingfuss; Cylinderblendung mit Schlitten (3 Diaphragmen); Hohl- und Planspiegel nach beiden

	Seiten hin beweglich. Schnelle Bewegung des Tubus durch freie Schiebung; genaue Einstellung mittelst feiner Schraube, deren Handknopf sich unter der Tubussäule befindet (Bewegung ohne Friktion, siehe No. 1). Hierzu die Objektive No. I, III, Va und VII ^b , Okulare No. 0, I und III, letzteres mit Mikrometer zum Einschieben (Vergrösserung 30—1375fach); Kondensator, Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc. In starkem Mahagonikasten; die Objektive in besonderem Lederetui	255 Mark
	Das gleiche Instrument mit den Objektiven No. I, III, Va und VII ^a , Okularen No. 0, I und III (Vergrösserung 30—1375fach); Mikrometer, Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc.; Objektive in Lederetui	234 Mark
	Das gleiche Instrument mit den Objektiven No. II, Va und VII ^a , Okularen No. I und III (Vergrösserung 70—1375fach); Mikrometer, Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc. Objektive in Lederetui	207 Mark
	Das gleiche Instrument mit den Objektiven I, III und Va, Okularen No. I und II (Vergrösserung 45—610fach); Mikrometer, Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc.	162 Mark
	(Mit Lederetui 3 Mark mehr).	
	Das gleiche Instrument mit den Objektiven No. II und Va, Okularen No. I und III (Vergrösserung 70—610fach); Mikrometer, Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc.	144 Mark
	Mit Lederetui 3 Mark mehr.	
	Das letztere Instrument ohne Mikrometer	138 Mark
No. 6.	Reisemikroskop, mit zusammenlegbarem Dreifuss und einer unter dem Objektische befindlichen Vorrichtung zum Zusammenschieben des Instruments. Schnelle Bewegung des Tubus durch freie Schiebung; genaue Einstellung mittelst feiner Schraube (Bewegung ohne Friktion, siehe No. 1). Hierzu die Objektive No. II, Va und VII ^a , Okulare No. I und III; letzteres mit Mikrometer zum Einschieben (Vergrösserung 70—1375fach); Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc.; das Ganze in einem Mahagonikasten von kleinstem Format, äusserst kompensiös	204 Mark
	Das gleiche Instrument mit den Objektiven No. I, III und Va, Okularen No. I und III (Vergrösserung 45—610fach); Mikrometer, Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc.	162 Mark
- 7.	Einfaches Mikroskop. Runder Messingfuss. Schnelle Bewegung des Tubus durch freie Schiebung; genaue Einstellung mittelst feiner Schraube, deren Handknopf sich über der Tubussäule befindet (Bewegung ohne Friktion, siehe No. 1), drehbare Blendungsscheibe mit 5 Diaphragmen; Hohl- und Planspiegel nach beiden Seiten hin beweglich. Hierzu die Objektive No. II und Va, Okulare No. I und III; letzteres mit Mikrometer zum Einschieben (Vergrösserungen 70—610fach); Testobjekte, Objektträger, Deckgläser etc. In Mahagonikasten . . .	120 Mark
	Das gleiche Instrument ohne Mikrometer	114 Mark
- 8.	Kleines Mikroskop. Runder Fuss. Freie Schiebung des Tubus; genaue Einstellung am Objektisch; Hohlspiegel. Hierzu die Objektive No. II und Va, Okulare No. I und III (Vergrösserung 70—610fach); Testobjekte. In Mahagonikasten . . .	87 Mark
	Das gleiche Instrument mit einem Satz von 3 achromatischen Objektivlinsen und Okular No. II; Vergrösserungen 60, 100 und 180fach	48 Mark
- 9.	Demonstrations-Mikroskop (kann mit eingeklemmtem Präparate von Hand zu Hand gegeben werden). Mit einem Satz von 3 achromatischen Objektivlinsen und Okular No. II; Vergrösserungen 40, 80 und 120fach	36 Mark
- 10.	Mikro-photographischer Apparat, für jedes gewöhnliche Mikroskop-Stativ passend	108 Mark
	Der gleiche Apparat mit den mikro-photographischen Objektiven $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ und 1 Zoll Brennweite	204 Mark
- 11.	Grosser mikro-photographischer Apparat, ohne Mikroskop-Stativ zu gebrauchen; Bildgrösse bis zu 15 Cm. Durchmesser; mit den mikro-photographischen Objektiven $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ und 1 Zoll Brennweite	348 Mark
- 12.	Grosser horizontaler mikro-photographischer Apparat, kann bis zu einer Länge von 2 Metern ausgezogen werden. Bildgrösse bis zu 30 Cm. Durchmesser. Mit den mikro-photographischen Objektiven $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ und 1 Zoll Brennweite und dem Immersions-Objektiv No. VII ^b	636 Mark
	Stativ No. 1 incl. Kasten	402 Mark
	- - 2 - -	180 Mark
	- - 3 - -	120 Mark
	- - 4 - -	90 Mark
	- - 5 - -	72 Mark
	- - 6 - -	72 Mark
	- - 7 - -	48 Mark
	- - 8 - -	18 Mark

Nebenapparate.

- No. 13. Präparir-Mikroskop (Simplex). Fester Tisch. Einstellung mittelst Triebwerkes, auf polirtem Mahagonikasten mit Auflagen für die Hände und zwei Schubladen; mit zwei achromatischen Triplets 45 Mark
 Das gleiche Instrument mit 3 Triplets 54 Mark
 Das gleiche Instrument mit zusammenlegbarem Kasten (kompensiös für die Reise) mit 3 Triplets 60 Mark
- 14. Grosse Stativlupe, mit schwerem Messingfuss und langem doppelgelenkigem Arm; 2 Linsen; Vergrößerung 3 und 6fach 18 Mark
 - 15. Kleine Stativlupe, Einrichtung wie No. 14; 2 Linsen. Vergr. 5 u. 10fach 10 1/2 Mk.
 - 16. Grosser Zeichnungsapparat, mit Okular und 2 Prismen, nach *Oberhäuser*; in Mahagonikästchen 33 Mark
 - 17. Kleiner Zeichnungsapparat mit Theilkreis, in Etui 18 Mark
 - 18. Polarisationsapparat mit Theilkreis, nach *Hartnack*, verbessert (mit Nonius und Fadenkreuz), in Etui 60 Mark
 - 19. Einfacher Polarisationsapparat (der Analysator wie bei No. 18 über dem Okular) 42 Mark
 - 20. Beweglicher Okular-Glasmikrometer, mit feiner Schraube zur horizontal-linearen Bewegung, sowie mit Korrektion 24 Mark
 - 21. Revolver-Objektivträger zum schnellen Wechseln der Objektive, für 5 Objektive 39 Mark
 Derselbe kleiner, für 4 Objektive 24 Mark
 - 22. Beweglicher Objektisch (mit feinen Schrauben) 24 Mark
 - 23. Grosses Beleuchtungs-Douplet für opake Objekte auf besonderem Stativ mit schwerem Messingfuss 24 Mark
 - 24. Einfache Beleuchtungslinse auf besonderem Stativ 12 Mark
 - 25. *Schultze's* heizbarer Objektisch, in Mahagonikasten 36 Mark
 - 26. *Stricker's* heizbarer Objektisch, in Mahagonikästchen 36 Mark
 - 27. *Vogelsang's* heizbarer Objektisch (mit elektrischem Strom) 36 Mark
 - 28. Bildumkehrendes Prisma nach *Nachet*, mit Okular verbunden 30 Mark
 - 29. Kompressorium 15 Mark
 - 30. Objektiv-Mikrometer, in Etui, 1 Mm. in 100 Theile 9 Mark

Mikrospektroskope

nach *Sorby-Browning*.

- No. 31. Mit 5 Prismen à vision directe, einem Vergleichsprisma mit Objektischchen und Beleuchtungsspiegel für die zu vergleichenden Objekte. Die Okularlinse mit den Prismen lässt sich mittelst Trieb verschieben und so auf den Spalt genau einstellen. Höhe des ganzen Apparates über dem Mikroskop 100 Mm. 90 Mark
 Messapparat zum Messen der *Fraunhofer's*chen Linien und Absorptions-Bänder. Derselbe passt für alle Apparate. 30 Mark

Objektive und Okulare.

Objektiv.	Fokus d. äquiv. Linse.		Öff.-Winkel.		Mrk.
	engl. Zll.	Millim.			
Nr. 00.	2 1/2	63,5	10		24
- 0.	1 3/4	44,4	15		21
- I.	1	25,4	20		18
- II.	1/2	12,7	38		18
- III.	1/3	8,5	50		18
- IV.	1/4	6,4	80		27
- Va.	1/8	3,2	150	ohne Korrektionsschraube	36
- Vb.	1/8	3,2	150	mit Korrektionsschraube	48
- VIa.	1/12	2,1	165	ohne Korrektionsschraube	60
- Vlb.	1/12	2,1	165	mit Korrektionsschraube	75
- VIIa.	1/16	1,6	175	Immersion ohne Korrektion	60
- VIIb.	1/16	1,6	175	Immersion mit Korrektion	75
- VIII.	1/24	1,1	175	Immersion mit Korrektion	120
- IX.	1/32	0,8	175	Immersion mit Korrektion	180
- X.	1/50	0,5	175	Immersion mit Korrektion	300

NB. Objektiv No. VII entspricht <i>Hartnack's</i> No. 10	Mrk.
- - VII! - - - 14.	
- - IX - - - 18.	
Mikro-photographisches Objektiv, 1 Zoll Brennweite	36
- - - - $\frac{1}{2}$ - - -	30
- - - - $\frac{1}{4}$ - - -	30
- - - - $\frac{1}{8}$ - - -	45
Okular No. 0, I, II und III	7 $\frac{1}{2}$
Okular Nr. III mit Einrichtung für Mikrometer, nebst Mikrometer	12
Periskopische Okulare (grösseres und ebeneres Gesichtsfeld)	
No. 1 - - - - -	18
No. 2 - - - - -	15
No. 3 - - - - -	15

Vergrösserungen.

Objektive No.	00.	0.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.
mit Okular 0.	10	18	30	45	66	100	200	305	460	650	950	1450
- - I.	16	26	45	70	100	150	305	460	690	1000	1430	2200
- - II.	24	40	68	100	150	220	450	609	1000	1360	2170	3300
- - III.	32	54	90	140	200	300	610	930	1375	2000	2880	4400

No. 6.

Preisverzeichniss der Mikroskope von **G. & S. Merz** (vormals
Utzschneider & Fraunhofer) in München.
(1872.)

(Preise in Thalern.)

A. Komplete Mikroskope.

Mikroskop Nr. 1 mit Stativ Nr. 1, vertikal und horizontal drehbarer Tisch (englische inklinirende Form), grobe *) und feine Bewegung am Tubus, Beleuchtung in und ausser der Axe, Doppelspiegel und Lupe für opake Gegenstände.

Das Instrument, versehen mit 5 Objektivsystemen: $\frac{1}{3}$ ", $\frac{1}{6}$ ", $\frac{1}{12}$ ", $\frac{1}{18}$ ", $\frac{1}{24}$ ", und 6 Okularen: 1. 1 $\frac{1}{2}$. 2. 2 $\frac{1}{2}$. 3. 4., gewährt eine 60—1920malige Vergrösserung. Es besitzt ein Schraubenmikrometer, welches noch 0,0001 eines Pariser Zolles messen lässt, einen Polarisationsapparat, ein Zeichnungsprisma und ein Kompressorium. Das Ganze in elegantem Kasten. 284 Thlr.

Mikroskop Nr. 2 mit Stativ Nr. 1, versehen mit 3 Objektivsystemen: $\frac{1}{3}$ ", $\frac{1}{12}$ ", $\frac{1}{18}$ ", und 4 Okularen: 1. 1 $\frac{1}{2}$. 2. 4., gewährt es 60—1440 malige Vergrösserung. Beigegeben ein Glasmikrometer 112 Thlr.

Mikroskop Nr. 3 mit Stativ Nr. 2, vertikal und horizontal feststehender Tisch, grobe *) und feine Bewegung am Tubus, Beleuchtung in und ausser der Axe, Doppelspiegel, ohne Lupe für opake Gegenstände.

Das Instrument, versehen mit 2 Objektivsystemen: $\frac{1}{3}$ ", $\frac{1}{12}$ ", und 4 Okularen: 1. 1 $\frac{1}{2}$. 2. 4., gewährt 60—960 malige Vergrösserung 54 Thlr.

Mikroskop Nr. 4 mit Stativ Nr. 2, einfacheres Modell, vertikal und horizontal feststehender Tisch, grobe *) und feine Bewegung am Tubus, Beleuchtung in und ausser der Axe.

Das Instrument, versehen mit 2 Objektivsystemen: $\frac{1}{3}$ ", $\frac{1}{12}$ ", und 3 Okularen: 1. 1 $\frac{1}{2}$. 2., gewährt 60—480malige Vergrösserung 44 Thlr.

Mikroskop Nr. 5 mit Stativ Nr. 3, grobe *) Einstellung am Tubus, feine am Tische, Beleuchtung in und ausser der Axe.

Das Instrument hat 1 Objektivsystem: $\frac{1}{9}$ ", und 2 Okulare: 1. 2. von 180 und 360-maliger Vergrösserung. 32 Thlr.

Mikroskop Nr. 6 mit Stativ Nr. 3, Objektiv $\frac{1}{6}$ " reduzierter Oeffnung, Okular: 1. und 2. Vergrösserung 120 und 240 20 Thlr.

*) Die grobe Einstellung bei Stativ Nr. 1 durch Trieb, bei Nr. 2 und 3 durch Schieben der Röhre aus freier Hand.

- Mikroskop Nr. 7 (Dissektions-Mikroskop) Tisch mit Flügel, Einstellung durch Trieb, Beleuchtung in und ausser der Axe. Das Instrument besitzt 3 achromatische, sich zu einem $\frac{1}{3}$ System ergänzende Linsen und ein terrestrisches Okular nebst Auszug. Vergrösserung 8, 16, 24 und 40—200 36 Thlr.
- Mikroskop Nr. 7a. (einfaches Dissektions-Mikroskop), gleiche mechanische Ausstattung, achromatische Linsen, Vergrösserung 8, 16, 24 22 Thlr.
- Mikroskop Nr. 8 (als Modell des Prof. Donders bekannt), Stativ ähnlich dem Stativ Nr. 2, grobe Einstellung durch Trieb, feine durch Mikrometerschraube, Beleuchtung in und ausser der Axe, Doppelspiegel. Das Instrument besitzt 2 Objektive: $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{12}$ und 4 Okulare: 1. $1\frac{1}{2}$. 2. 4., nebst Glasmikrometer, und dient gleichzeitig als einfaches Dissektions-Mikroskop. Vergrösserung 8—960 60 Thlr.
- Dasselbe inklinirend für 8 Thlr. Preiszuschlag.

B. Mikroskopische Gegenstände.

Okulare: Nr. 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$, 3, 4, pr. Stück: 4 Thlr.

Die Vergrösserung von Okular 1, bei Objektiv 1, ist 20.

Objektivsysteme:

Brennweite der aequiv. Linse:	Oeffnungswinkel:	
$1''$, $1\frac{1}{2}''$, $1\frac{1}{3}''$	20° — 40°	10 Thlr.
$\frac{1}{6}''$, $\frac{1}{9}''$	100° — 120°	16 -
$\frac{1}{12}''$	140°	20 -
$\frac{1}{15}''$ } gewöhnliche und	140° — 150° }	24 -
$\frac{1}{18}''$ } systèmes à immersion	140°—150° }	32 -
$\frac{1}{21}''$ } systèmes à immersion	160° — 170° }	44 -
$\frac{1}{24}''$ }	160°—170° }	60 -

Korrektions-Fassungen erhöhen die Preise um je 8 Thlr.

Okularmikrometer, ohne Okular,	3 -
Objektivmikrometer, der Millimeter in 100 Theile,	6 -
Schraubenmikrometer	36 -
Goniometer	20 -
Polarisations-Apparate mit Theilkreis (Analysator über dem Okular)	20 -
Zeichnungsprisma, einfaches	6 -
Camera lucida, à double réflexion	20 -
Kompressorien	10 -
Lupen: Doublets von 5, 12, 17, 24 und 32maliger Vergrösserung	3 -
Lupen-Stativ	8 -
Spektralokular à vision directe	28 -
Spektralokular mit abgelenktem Strahl	16 -

No. 7.

Preisverzeichniss der Mikroskope von R. Winkel in Göttingen.

(1875.)

(Preise in Mark.)

I. Stative.

- No. 1a. Grosses Stativ mit schwerem hufeisenförmigem Fuss, drehbarem, mit Gradtheilung und Nonius versehenem Tisch, der durch Schraubenvorrichtung genau in die Tubusaxe eingestellt und zum Winkelmessen (mikroskopischer Krystalle etc.) benutzt werden kann. Blendungsapparat mit Zylinderverschiebung. Plan- und Hohlspiegel seitlich, wie hoch und tief zu stellen. Der Obertheil des Instruments ist zum Umliegen eingerichtet, so dass der Tubus bis zur horizontalen Lage geneigt und in jeder Stellung festgeklammert werden kann. Grobe Tubuseinstellung mittelst Triebwerk, feine durch Mikrometerschraube, deren Kopf mit einem 40 mm. grossen, in 100 Theile eingetheilten Kreise versehen ist, welcher einen Verstellungsunterschied von $\frac{1}{480}$ mm. direkt ablesen lässt 250 Mark
- 1b. Dasselbe mit festem viereckigem Tisch (90 mm. breit). Grobe Einstellung des Tubus durch Verschiebung in federnder Hülse, die zur Feststellung mit einer Klemmschraube versehen ist. Im Uebrigen wie No. 1a 174 Mark
- 2a. Hufeisenförmiger Fuss, fester viereckiger Tisch, Blendungsapparat mit Zylinder-

- verschiebung und Schlittenauszug. Obertheil des Instruments zum Umlegen. Feine Einstellung des Tubus durch Mikrometerschraube, welche auch, wie bei Stativ No. 1, als Schraubenmikrometer für Objektdicken dient. Grobe Einstellung mittelst Hebelrades, welches in der festen (nicht federnden) Stativhülse eine besondere Verschiebungshülse auf und nieder bewegt. In dieser ist der Tubus frei verstellbar. Sowohl der Tubus nebst dessen Auszugsrohr wie die durch das Hebelrad bewegte Verschiebungshülse sind mit Theilungen und Nonius versehen. Es gestattet diese nach Listing's Angabe getroffene Einrichtung die genaue Bestimmung von Brennweiten und Kardinalpunkten bei Linsen und Linsensystemen 198 Mark
- No. 2b. Dasselbe mit festem (nicht zum Umlegen eingerichteten) Stativ, ohne Theilungen an Tubus und Verschiebungshülse 144 Mark
- 3. Schwerer Fuss in Hufeisenform. Drehbarer Tisch mit Gradtheilung und Nonius ($0^{\circ},1$ angehend), Korrektions-Vorrichtung zur genauen Einstellung des Tisches in die optische Axe. Grobe Einstellung des Tubus durch Verschiebung, feine durch Mikrometerschraube. Der Blendungsapparat mit Cylinderverschiebung wird durch sogen. Bajonettverschluss unter dem Tische befestigt, an dessen Drehung er nicht Theil nimmt. Zufolge dieser Einrichtung kann bei Beobachtungen mit polarisirtem Lichte der Polarisator, das Objekt und der Analysator, jedes für sich, gedreht werden 135 Mark
- 4. Der hufeisenförmige Fuss ist mit dem festen viereckigen Tisch durch ein einseitig ausgeschweiftes Wandstück verbunden, welches die rechte Seite zur bequemen Handhabung der am untern Theil der prismatischen Säule befindlichen Mikrometerschraube frei lässt. Cylinderblendungen mit Schlittenauszug . . . 96 Mark
- 5. Eine auf hufeisenförmigem Fuss befestigte runde Säule trägt den viereckigen 76 mm. breiten Tisch, unter welchem statt des Schlittenauszugs für die Cylinderblende ein mit federnder Verschiebungshülse versehener Arm mittelst Stahlschraube derartig befestigt ist, dass der Hals der letzteren als Drehaxe dient und somit der ganze Blendungsapparat beim Blendungswechsel oder bei Anwendung schiefen Lichts bequem zur Seite gedreht werden kann, ohne dass seine Verbindung mit dem Stativ aufgehoben wird. Grobe Einstellung mittelst Tubusverschiebung; feine durch Mikrometerschraube an prismatischer Säule 75 Mark
- 6. Kleines Stativ mit rundem, gusseisernem Fuss. Tubus mit Auszug. Feine Einstellung am Tisch, der durch eine starke Stahlfeder mit seinem an der Säule befestigten Träger verbunden ist. Statt Cylinderblende eine Diaphragmenscheibe mit 4 Oeffnungen 38 Mark
- 7. Mikroskop mit grosser feuchter Kammer (200 mm. lang, 110 mm. breit, 14 mm. tief) mit verschiebbarem 225 mm. langem, 146 mm. breitem Objektträger, heizbarem Objekttisch, luftdichtem Verschluss der Kammer zum Zweck der Untersuchung durchsichtiger Theile an lebenden Thieren (Beobachtung des Froschmesenterium, der Schwimmhaut, des zirkulirenden Blutes bei Einwirkung von Gasen etc.) 102 Mark

NB. Bei sämmtlichen Stativen bis Nr. 6 incl. ist der Spiegel für schiefes Licht seitlich verstellbar.
Die Instrumentenkasten werden besonders berechnet, je nach Grösse und Einrichtung mit 8—16 Mark.

II. Objektive und Okulare.

Systeme No.	Aequivalente Brennweite	Vergrösserungen mit den Okularen.						Preise in M.
		1	2	3	4	5	6	
1	38 mm	25	30	36	42	50	66	22
2	17,5	54	65	78	94	112	149	20
3	12,4	74	88	105	126	150	200	27
4	9,5	102	122	146	175	210	280	27
5	5,2	184	220	264	316	380	506	30
6	4,3	222	266	320	384	460	612	33
7	3,5	275	330	396	475	570	760	36
8	2,6	366	440	528	634	760	1012	48
9	2	458	550	660	792	950	1266	ohne Korrektion 78
	dasselbe	"	"	"	"	"	"	mit " 90
10	1,8	500	600	720	864	1036	1382	mit " 108
11	1,6	584	700	840	1000	1200	1600	mit " 126

Okulare von No. 1—6 à St. 8

Okular mit Glasmikrometer $\frac{6 \text{ mm.}}{60}$ 18

NB. Die Vergrösserungen gelten für volle Tubuslänge und für eine Sehweite von 250 mm.
Bei den Korrektionssystemen 9, 10 und 11 ist die obere Linse nebst der mittlern gegen die untere

feststehende verstellbar. Es bleibt somit das Bild während der Berichtigung sichtbar, und ist diese, um so leichter zu bewerkstelligen, als der sogen. todte Schraubengang durch eine im Innern der Fassung angebrachte Feder vollkommen beseitigt, und bei jeder Verstellung der Schraubenmutter die Wirkung in Bezug auf die Bildschärfe eine unmittelbare ist. Für unbedeckte Objekte, sowie für Deckglasdicken von 0,1, 0,2, 0,3 mm. finden sich auf dem Rande der Drehmutter die entsprechenden Bezeichnungen.

Die Systeme mit fester Fassung sind für eine Deckglassdicke von 0,2 mm. berichtigt.

III. Neben-Apparate.

Okular-Goniometer mit verstellbarem Fadenkreuz. Kreis von 88 mm. Durchmesser in ganze Grade getheilt, Nonius 0,1 angehend	66 Mark
Polarisations-Apparat, je nach Grösse des Nicols, mit oder ohne Gradkreis	42 - 66 Mark
Präparir-Mikroskop mit 10-, 20- und 30mal. Vergrösserung. Einstellung mittelst Getriebe	60 Mark
Demonstrationsmikroskop (eigner Konstr.) bei Vorträgen von Hand zu Hand zu geben. Der Apparat, dessen Boden zur Aufnahme des Objects abgenommen und, mittelst Bajonetverschluss leicht und sicher angesetzt wird, gestattet eine bequeme Verschiebung des Objects in jeder Richtung seiner Ebene, sowie Einstellung desselben in den Focus mittelst Mikrometerschraube. Es können dazu die gewöhnlichen Mikroskop - Objective bis zu ca. 500mal. Vergrösserung benutzt werden	ohne Objektive 42 Mark
Zeichnungsprisma nach Oberhäuser	42 Mark
Kleiner Zeichnungsapparat (eigner Konst.) mit über der Ocularlinse befindlichem, in vertikaler Ebene drehbarem kleinem Prisma, welches, um beim Aufsuchen des Objekts das Ocular freigebrauchen zu können, zur Seite gedreht, und dessen genaue Rückstellung in die optische Achse durch eine Feder vermittelt wird. Bild und Zeichenstift erscheinen gleich deutlich	24 Mark, Zeichenbrett dazu 3 Mark
Zeichnungsapparat (eigner Construction) zur Aufnahme von Gegenständen in natürlicher Grösse	18 Mark
Derselbe, für mehrmalige Vergrösserung eingerichtet	30 Mark
Dunkle Kammer (eign. Konstruktion). Die durch Lederbalg verbundenen Verschlussheile des Apparats lassen sich ohne Berührung und Verschiebung des zu beobachtenden Objekts am Objektisch und Tubus oder dessen Verschiebungshülse an- und absetzen, und bildet derselbe einen vollkommenen Verschluss gegen das Eindringen von Licht neben oder über dem Objekt	30 Mark
Feuchte Kammer, je nach Einrichtung.	3—6 Mark
Kompressorium einfacher Konstruktion	12 Mark

No. 8.

Preisverzeichniss der Mikroskope von **F. W. Schieck** in Berlin
S. W. (Hallesche Strasse 14).

(1875.)

(Preise in Mark.)

- A. Grösstes zusammengesetztes Mikroskop (Hufeisen-Stativ). Zum Ueberlegen konstruirt. Der Tisch ist um seine Axe drehbar. Die grobe Einstellung des Objekts geschieht durch Zahn und Trieb, die feine durch eine Mikrometerschraube.
Grosser Hohl- und Planspiegel nach beiden Seiten, sowie nach vorn beweglich.
 - a. Mit neun festen Objektiv-Systemen: 1, 3, 4, 5, 7, 8, 9 und 10, 12 (Immersionssysteme mit Korrektionsvorrichtung), fünf achromatischen Okularen, Zylinderblenden mit vertikaler Bewegung, an einem Schlitten befestigt, welcher seitwärts zu entfernen ist; einer Beleuchtungslinse mit Stativ für opake Objekte, Stahlpinzette, Okular-Glasmikrometer, Objekt- und Deckgläser etc. 1000 Mark
Linear-Vergrösserung: 20—4500.
 - b. Mit acht Objektiv-Systemen: 1, 3, 4, 5, 7, 8 und 9, 11 (Immersionssysteme) und fünf achromatischen Okularen etc. 900 Mark
Linear-Vergrösserung: 20—3000.
Das Gestell allein, mit Mahagonikasten 360 -
- B. Grosses-Mikroskop (Hufeisen-Stativ). Dieses Modell ist dem vorhergehenden in der Konstruktion gleich, nur etwas kleiner.
 - a. Mit 8 Objektiven: 1, 3, 4, 5, 7, 8 und 9, 10 (Immersionssysteme), vier Okularen, einer Beleuchtungslinse auf Stativ etc. 800 Mark
Linear-Vergrösserung: 20—2500.
 - b. Mit sieben Objektiven: 1, 3, 4, 5, 7, 8 und 10 (Immersion). 750 Mark
Das Gestell incl. Kasten 300 -

C. Grosses Mikroskop, mit Ausnahme der Konstruktion zum Ueberlegen dem Modell B gleich. Drehbarer Tisch, grobe Bewegung durch Zahn und Trieb etc.

a. Mit sieben Objektiven: 1, 3, 4, 5, 7, 8 und 9 (Immersion), vier Okularen. 600 Mark
Linear-Vergrößerung: 20—2000.

b. Mit fünf Objektiven: 1, 4, 7, 8 und 9 (Immersion) 540 -
Das Gestell incl. Mahagonikasten 240 -

D. a) Dasselbe Modell; nur sind die Okulare etwas kleiner im Durchmesser. Mit sechs Objektiven: 1, 3, 5, 7, 8 und 9 (Immersion), vier Okularen etc. 450 Mark
Linear-Vergrößerung: 20—1500.

b) Dasselbe mit vier Objektiven: 1, 4, 7 und 9 (Immersion) 360 -
c) Dasselbe mit den Objektiven: 1, 4, 7 und 8 300 -

Gestell incl. Mahagonikasten 180 -

E. Neues Modell, dessen Konstruktion dieselben Vortheile bietet, wie Nr. A. und B; (die grobe Bewegung durch Zahn und Trieb ausgenommen). Das Gestell ist zum Ueberlegen konstruirt. Der Tisch um seine Axe drehbar.

a) Mit sechs Objektiven: 1, 3, 4, 5, 7 u. 9 (à immersion) und vier Okularen 400 Mark

b) Mit fünf Objektiven: 1, 3, 5, 7 u. 9 (à immersion) und vier Okularen . . 365 -

c) Mit fünf Objektiven: 1, 3, 5, 7 u. 9 (trocken) und vier Okularen . . 300 -

d) Mit vier Objektiven: 1, 4, 7 und 8 und vier Okularen 240 -

Gestell incl. Kasten 120 -

F. Kleines Modell (nach Hartnack) mit festem Tisch und Zylinderblendungen.

a. mit den Objektiven: 1, 3, 5, 7 u. 9 (à immersion) 300 -

b. - - - 1, 3, 5, 7 u. 9 (trocken) 240 -

c. - - - 1, 3, 5, 7 u. 8 225 -

d. - - - 1, 4, 7 u. 9 (à immersion) 270 -

e. - - - 1, 4, 7 u. 9 (trocken) 225 -

f. - - - 1, 4, 7 u. 8 210 -

g. - - - 1, 3, 5 u. 7 195 -

h. - - - 4, 7 u. 8 195 -

i. - - - 3, 5 u. 7 180 -

k. - - - 1, 4 u. 8 175 -

l. - - - 1, 4 u. 7 160 -

m. - - - 4 u. 8 156 -

n. - - - 4 u. 7 150 -

o. - - - 3 u. 5 135 -

und drei Okularen

Gestell mit Kasten 75 -

NB. 1. Wird dieses Modell mit drehbarem Tisch gewünscht, so erhöht dies den Preis um 30 Mark.

2. Dasselbe Modell mit doppelt so grossem Sehfeld kostet 30 Mark mehr.

3. Dasselbe Modell zum Ueberlegen konstruirt 15 Mark mehr.

G. Kleines Modell mit festem Tisch und Blendungscheibe.

a. mit den Objektiven: 1, 4, 7 u. 8 und zwei Okularen 180 Mark

b. - - - 4, 7 u. 8 - - - 170 -

c. - - - 1, 3, 5 u. 7 - - - 165 -

d. - - - 3, 5 u. 7 - - - 150 -

e. - - - 1, 4 u. 8 - - - 140 -

f. - - - 1, 4 u. 7 - - - 125 -

g. - - - 4 u. 7 - - - 115 -

h. - - - 3 u. 5 - - - 110 -

Gestell mit Kasten 60 -

NB. Dasselbe Modell zum Ueberlegen konstruirt wird 15 Mark höher berechnet.

H. Neues kleines Modell (Studenten-Mikroskop), Mikrometer-Schraube; schiefe Spiegelstellung (Hohl- und Planspiegel); fester, grosser Objektisch, mit Blendscheibe und Zylinderblendung.

a. mit den Objektiven: 1, 3, 5, 7, 9 (à immersion) und 2 Okularen 225 Mark

b. - - - 1, 3, 5, 7, 9 (trocken) - - - 180 -

c. - - - 1, 4, 7, 9 (à immersion) - - - 200 -

d. - - - 1, 4, 7, 9 (trocken) - - - 160 -

e. - - - 1, 4, 7, 8 - - - 150 -

f. - - - 4, 7, 8 - - - 140 -

g. - - - 1, 4, 8 - - - 120 -

h. - - - 1, 3, 5, 7 - - - 130 -

i. - - - 4, 8 - - - 110 -

k. - - - 3, 5, 7 - - - 120 -

l. - - - 1, 4, 7 - - - 100 -

m. - - - 4, 7 - - - 90 -

n. - - - 3, 5 - - - 75 -

Dasselbe Modell zum Ueberlegen konstruirt je 10 Mark mehr.

Gestell mit Kasten 45 -

<i>J.</i> Kleines Mikroskop zum Gebrauch für Schulen. Mikrometer-Schraube, Doppelspiegel, Blendungsscheibe.		
<i>a.</i>	Vergrößerung: 20—600 mit 2 Okularen	96 -
<i>b.</i>	- 20—450 - - -	85 -
<i>c.</i>	- 50—300 - - -	75 -
<i>d.</i>	- 50—180 - - -	60 -
<i>e.</i>	- 20—150 - - -	50 -
<i>K.</i> Mikroskop, speziell zur Trichinen-Untersuchung konstruirt. Mit 2 Okularen und 3 Objektivlinsen, welche zusammen mit den Okularen 4 verschiedene Vergrößerungen von 20—150 geben, in verschliessbarem Mahagonikasten		40 Mark
<i>L.</i> Reise-Taschen-Mikroskop. Das Gestell ist eingeschlossen in einem Mahagonikästchen von 5" Länge, 2" Breite und 1 1/2" Höhe. Mit 1 Okular und 1 Objektiv		36 Mark
Vergrößerung: 200.		
<i>M.</i> Einfaches Präparir-Mikroskop (simplex). Mit 6 achromatischen Objektivlinsen in 2 Systemen		75 Mark
Linear-Vergrößerung bis 50.		
<i>N.</i> Einzelne Gegenstände und Neben-Apparate.		
Einfaches Okular		10 Mark
Achromatisches Okular		15 -
Okular mit Mikrometer		20 -
Okular mit verstellbarem Glasmikrometer		36 -
Bildumkehrendes Okular		30 -
Kompressorien verschiedener Konstruktion		à 15—30 -
Schraubenmikrometer, 0,0001 Mm. messend		150 -
Goniometer, zwei Minuten angehend		.75 -
Polarisations-Apparat		40—60 -
Ein Zeichnungs-Apparat nach <i>Nachet</i>		25 -
- - - - <i>Milne Edwards</i>		36 -
- - - - <i>Oberhäuser</i>		60 -
Ein Revolver-Apparat für 6 Objektive		50 -
Ein solcher für 5 Objektive		45 -
Ein solcher für 4 Objektive		40 -
Eine achromatische <i>Brücke'sche</i> Stativlupe		45 -
Achromatische Doppellupen mit Gelenkstativ		36 -
Beweglicher Objektisch (mittelst Schrauben)		75 -
Beleuchtungslinse für opake Objekte ohne Stativ		15 -
Dieselbe in verschiedener Grösse mit Stativ		25—45 -
Achromatische Doppellupen in Elfenbeinfassung à		15 -
Dieselben in Büffelhornfassung à		12 -
Ein Dutzend Objektträger mit geschliffenen Kanten		2 -
Ein Dutzend viereckiger Deckgläser verschiedener Grösse		3/4 -
Ein Dutzend runder Deckgläser		1 -

Preise der achromatischen Objektive und deren Vergrößerungen mit den Okularen

Objektiv	No. 0	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	Oeff- nungs- winkel.	Focus der Objective in engl. Zollen.	Preis Mark.
à immersion	1	20	30	35	—	—	20°	2"	15
	2	40	50	65	—	—	25°	1"	18
	3	70	85	100	180	—	50°	3/4"	25
	4	90	110	125	210	300	75°	1/2"	30
	5	150	180	220	350	425	125°	1/4"	35
	6	200	250	300	450	550	140°	1/5"	42
	7	275	325	375	525	650	150°	1/6"	45
	8	400	475	550	700	900	160°	1/8"	50
	9	450	550	700	950	1100	172°	1/10"	60
	9	500	600	750	1200	1500	174°	1/12"	120
	10	600	700	800	1350	1650	175°	1/16"	150
	11	750	850	1000	1500	2400	175°	1/18"	195
	12	850	1000	1200	1800	3000	176°	1/24"	225
	13	930	1150	1350	2250	3500	177°	1/32"	270
	14	1100	300	1500	2800	4000	178°	1/40"	300
	15	1400	800	2250	3500	5500	177°	1/50"	375

NB. 1) Alle Mikroskope sind eingeschlossen in einem sauberen, verschliessbaren Mahagonikasten. 2) Die Modelle A, B und C haben Okulare mit grossem Durchmesser, wodurch bei diesen Mikroskopen ein extra grosses Gesichtsfeld erzielt wird. 3) Die Mikroskope K, L, M lassen keine schiefe Spiegelstellung zu. 4) Die Objektive sind in besonderen Leder-Etuis eingeschlossen. 5) Die Immersions-Systeme werden auf Wunsch mit dem englischen Gewinde (Society screw) versehen. 6) Der Polarisations-Apparat kann nur zu den Modellen A bis F incl. hinzugefügt werden. 7) Die Objektive sind bei den Modellen A, B. und C. in Messingbüchsen eingeschlossen.

No. 9.

Preisverzeichniss der Mikroskope von **Ernst Leitz**, Nachfolger des in Wetzlar von C. Kellner gegründeten Instituts.

(1875.)

(Preise in Mark.)

Mikroskope.

1. Grosses Mikroskop. Stativ mit elegantem Messingfuss, Drehung um die optische Axe, Zylinderblendung mit Schlitten, dazu 4 Diaphragmen und 1 Kondensor. Grobe Einstellung durch Zahn und Trieb, feine durch Mikrometerschraube. Tubus znm Ausziehen eingerichtet. Spiegel konkav und plan, senkrecht und nach beiden Seiten verstellbar. — Mit 1 Okularmikrometer, Zeichnungs- u. Polarisationsapparat, Revolver-Objektivträger für 5 Objektive. 1 achromatische Handlupe, 1 Deckglastaster. — Systeme 2. 3. 5. 6. 7. 9 und Immersions-Systeme 8. 9. 10. — Okulare (orthoskopisch) I. II. III. IV. Vergrösserung von 20—2400. — Systeme in feinem Leder-Etui 750 Mrk.
2. Dasselbe Mikroskop mit Okularmikrometer, Zeichnungsapparat, Systeme 2. 5 7., Immers.-Systeme 8. 9. Okulare (orthoskopisch) I. II. III. IV. Vergrösserung von 20—1500 495 Mrk.
3. Dasselbe mit den Systemen 3. 5. 7. Immersions-System 9; gewöhnl. Okulare 0. II. V. Vergrösserung von 20—1500 336 Mrk.
4. Dasselbe mit den Systemen 4. 5. 7. Immersion 8. 324 -
5. Dasselbe mit den Systemen 3. 5. 7. 246 -
6. Mittleres Mikroskop. Stativ mit elegantem Messingfuss. Drehung um die optische Axe; Einstellung durch Tubusschiebung und Mikrometerschraube; Zylinderblendung mit Schlitten. Spiegel konkav und plan, seitlich verstellbar. Mit Okularmikrometer, System 3. 5. 7. Immers.-System 9. Okulare 0. II. V. Vergrösserung von 40—1500 (Systeme in Etui) 240 Mrk.
7. Dasselbe Instrument mit den Systemen 3. 6. 8. Vergrösserung von 70—1000 190 -
8. Dasselbe mit den Systemen 3. 7. u. den Okularen I. III. V. 150 -
9. Mittleres Mikroskop mit elegantem Messingfuss; feststehend, d. h. ohne Drehung um die Axe. Einstellung durch Tubusschiebung und Mikrometerschraube. Zylinderblendung mit Schlitten, Spiegel konkav und plan, seitlich verstellbar. Systeme 3. 5. 7. Immers. 9 ohne Korrektion. Okulare I. III. Vergrösserung von 70—1000 (Systeme in Etui) 200 Mrk.
10. Dasselbe mit System 3. 6. 8. Okulare I. III. Vergrösserung 70—650. . . 160 -
11. Dasselbe mit System 3. 5. 7. Okulare I. III. Vergrösserung von 70—450. 140 -
12. Dasselbe mit System 3. 7. Okulare I. III. 110 -
13. Kleines Mikroskop. Stativ mit rundem Messingfuss. Einstellung durch Tubusschiebung und Mikrometerschraube à la Roberval (über der Säule). Spiegel konkav und plan, seitlich verstellbar. Systeme 3. 5. 7. Okulare I. III. Vergrösserung von 70—450. 105 Mrk.
14. Dasselbe mit System 3. 7. Okulare I. III. Vergr. 70—450 84 -
15. Kleinstes Mikroskop. Stativ mit rundem Fuss. Einstellung durch Tubusschiebung und Mikrometerschraube. System 3. 7. Okulare I. III. Vergrösserung von 70—450 69 Mrk.
16. Dasselbe mit System 5 und Okular I. Vergrösserung 160 45 -

Bemerk. Die Mikroskope I. II. und III. werden auf Verlangen zum Umlegen eingerichtet, wodurch sich der Preis von I. um 30, der von II. um 23 und der von III. um 15 Mark erhöht.
Bei Mikroskop II. und III. wird ausserdem, ohne Preissteigerung, die Mikrometerschraube auf Wunsch über der Säule angebracht.
Die Stativ der Mikroskope können auch ohne optische Attribute abgelassen werden und kosten:

I.	II.	III.	IV.	V.
Mark 180	90	67	39	24

Das Mikroskop IV. kann auf Verlangen, anstatt der Drehscheibenblendung, Cylinderblendung zum Abnehmen erhalten, in welchem Falle dessen Preis um 6 Mark steigt.

Objektiv-Systeme und Okulare

neuester Konstruktion.

Nummer.	Aequivalente Brennweite.		Oeffnungswinkel.	Vergrößerung bei 160 Mm. Tubuslänge für 250 Mm. Sehweite mit Okular:						Preise in Mark.
	Zoll.	Mm.		0.	I.	II.	III.	IV.	V.	
	Trocken-Systeme.									
1	2 $\frac{1}{3}$	60,5	10°	20	30	40	50	60	80	9
2	1 $\frac{1}{5}$	30,0	20°	30	45	55	60	80	100	18
3	1 $\frac{1}{2}$	15,5	40°	50	70	90	100	130	145	15
4	1 $\frac{1}{3}$	9,2	60°	70	100	120	180	200	240	25
5	1 $\frac{1}{4}$	6,3	80°	120	170	200	230	300	350	25
6	1 $\frac{1}{6}$	4,5	100°	180	260	300	350	450	500	30
7	1 $\frac{1}{5}$	3,8	100°	240	340	370	450	580	700	32
8	1 $\frac{1}{9}$	2,8	105°	320	460	510	600	800	1000	40
9	1 $\frac{1}{14}$	1,8	105°	500	700	800	1000	1000	1400	70
Immersions-Systeme.										
8	1 $\frac{1}{8}$	2,8	180°	320	460	510	600	800	1000	54
9	1 $\frac{1}{16}$	1,7	180°	550	800	900	1000	1200	1500	75
10	1 $\frac{1}{18}$	1,4	180°	700	900	1000	1400	1600	1800	120
11	1 $\frac{1}{25}$	1,0	180°	900	1200	1500	1700	2000	2400	200

Die Systeme Nr. 9—11 beiderlei Gattung sind mit Korrekionsvorrichtung versehen. Nr. 9 wird jedoch auch in fester Fassung geliefert, da bei diesem System die Korrektion noch ohne besonderen Nachtheil entbehrt werden kann; sein Preis vermindert sich hierdurch um 15 Mark. Die festen Systeme Nr. 5 bis Nr. 9 sind auf eine Deckglasdicke von 0,15 bis 0,2 Mm. konstruirt.

Okulare.

	Mark
17. Orthoskopisches Okular I. II. III. IV.	15
18. Gewöhnliches Okular 0. I. II. III. IV. V.	6
19. Holosterisches Okular I. II. III.	12
20. Stereoskopisches Okular in Etui	105
21. Spectralokular nach <i>Sorby-Browning</i> in Etui	90

Einfache Mikroskope und Lupen.

22. Neues Präparirmikroskop. Runder Messingfuss, grosser Tisch, mit Handauflagen zum Aufstecken; Einstellung durch Zahn und Trieb; beweglicher Hohlspiegel; 3 Systeme, bestehend aus achromatischen Linsen und einem concaven Okularglas, wodurch Vergrößerungen von 10. 20. 30, sowie durch Aufschrauben der Okularlinse Vergrößerungen von 40. 60. 100 erzielt werden. Der Fokalabstand ist bei der stärksten Vergrößerung noch 9 Mm. Das Ganze in verschliessbarem Kästchen von Mahagoniholz	66
23. Einfaches Präparirmikroskop. Einstellung durch Schiebung, Vergrößer. 10. 20. 30	36
24. Dasselbe mit Vergrößerung 30	20
25. Achromatische Handlupe mit 10mal. Vergrößerung	9
26. Einfache achromatische Handlupe mit 6mal. Vergrößerung	4 $\frac{1}{2}$

Nebenapparate.

27. Polarisationsapparat mit besonderem Okular, Nonius mit Fadenkreuz	60
28. Einfacher Polarisationsapparat	30
29. Gyps- und Glimmerblättchen, 1 Collektion von 8 Stück	9
30. Mikroskopischer Wärmekasten nach <i>Sachs</i>	18
31. Heizbarer Objektisch nach <i>M. Schultze</i>	30
32. Deckglastaster, zur Messung der Dicke der Deckgläschen	9
33. Feuchte Kammer nach <i>Recklinghausen</i>	3
34. Revolver-Objektivträger für 6 Objektive	30

35. Okular-Glasmikrometer mit Fassung zum Einlegen, Länge der Theilung 3 Mm. = 30 Thl.	Mark
36. Okular-Glasmikrometer, 1 Mm. in 20 Thl.	4 1/2
37. Objektivmikrometer, 1 Mm. in 100 Thl.	6
38. Zeichnungsapparat nach <i>Nobert</i>	9
39. Zeichnungsapparat nach <i>Doyère</i> und <i>Milne Edwards</i> mit 2 Prismen	15
40. Kondensor	24
41. Beleuchtungslinse auf Stativ, 3" Durchmesser	6
42. Dieselbe, 2 1/2" Durchmesser	36
43. Dieselbe, 1 1/2" Durchmesser	30
44. Kompressorium	21
45. Objektträger mit concavem Ausschliff per Dutzend	18
46. Objektträger, gewöhnliche, per Dutzend	7
	1

No. 10.

Preisverzeichniss der Mikroskope von S. Plössl & Cie. in Wien. 1875.

(Preise in österr. Gulden).

- No. 1. Grosses Mikroskop, horizontal drehbarer Tisch, grobe Einstellung des Tubus durch Hebelvorrichtung (eine höchst solide und handsame Konstruktion, unbedingt besser als Zahn und Trieb), feine Einstellung durch Mikrometerschraube, Zylinderblendung mit Schlitten, Objektisch mit Glas belegt, Doppelspiegel in und ausser der Achse beweglich. Das Stativ mit Charnier zum Umlegen eingerichtet. Dazu 5 Objectiv-Systeme B. D. F. I u. L; 5 orthoskopische, 1 aplanatisches und 1 Vollglas-Okular. Linearvergrösserung von 20—2460. Polarisationsapparat, Zeichnungsapparat, Kompressorium, grosse Beleuchtungslinse auf Stativ für opake Objekte, 2 Glas-Mikrometer, Probe-Objekte, Objektträger und Deckgläschen, Lupe, Präparir-Besteck. Alles in elegantem Kasten mit Schloss 600 fl.
- 2. Mittleres Mikroskop, gleich dem in Nr. 1 beschriebenen, nur kleiner und mit nicht so hoher Tischplatte. Dazu 4 Objectiv-Systeme A, C, F und J; 5 orthoskopische Okulare: Linearvergrösserung von 20—1250. Grosse Beleuchtungslinse auf Stativ für opake Objekte, 2 Glas-Mikrometer, Probe-Objekte, Objektträger, Deckgläschen, Lupe, Präparir-Besteck. Alles in elegantem Kasten mit Schloss. 350 fl.
- 3. Mittleres Mikroskop, (ohne Charnier zum Umlegen und ohne Hebelvorrichtung zur groben Einstellung des Tubus); horizontal drehbarer Tisch, grobe Einstellung durch Schieben des Tubus aus freier Hand, feine durch Mikrometerschraube, Zylinderblendung mit Schlitten, Objektisch mit Glas belegt, Doppelspiegel in und ausser der Achse beweglich. Dazu 4 Objectiv-Systeme A, C, F und J; 5 Okulare; Linearvergrösserung von 20—1250. Beleuchtungslinse auf Stativ, 2 Glas-Mikrometer, Probe-Objekte, Objektträger und Deckgläschen, Lupe, Präparir-Besteck. Alles in elegantem Kasten mit Schloss 320 fl.
- 4. Kleines Mikroskop, feststehender Tisch, grobe Einstellung durch Schieben des Tubus aus freier Hand, feine durch Mikrometerschraube, Zylinderblendung mit Schlitten, Objektisch mit Glas belegt, Doppelspiegel seitlich stellbar. Dazu 3 Objectiv-Systeme B, D und F; 4 Okulare; Linearvergrösserung von 40—1000. Beleuchtungslinse zum Aufstecken, Objekte, Objektträger, Deckgläschen. Alles in elegantem Kasten mit Schloss 175 fl.
- 5. Kleines Mikroskop. Dazu 3 Objectivsysteme B, E und I; 3 Okulare; Vergrösserung von 40—1250 195 fl.
- 6. Kleines Mikroskop. Das Stativ mit Charnier zum Umlegen eingerichtet. 20 fl.
- 7. Kleines Mikroskop. Feststehender Tisch, grobe Einstellung durch Schieben des Tubus aus freier Hand, feine durch Mikrometerschraube, Blendscheibe, Spiegel seitlich stellbar. Dazu 2 Objectiv-Systeme B und E; 2 Okulare; Linearvergrösserung von 40—500. Alles in elegantem Kasten 120 fl.
- 8. Kleines Mikroskop. Dazu 1 Objectiv E und 2 Okulare; Linearvergrösserung 240 und 400 95 fl.
- 9. Kleines Mikroskop. Grobe Einstellung durch Schieben des Tubus aus freier Hand, feine durch Mikrometerschraube, Blendungsscheibe, Spiegel seitlich stellbar. Dazu 2 Objektive A und D; 2 Okulare; Vergrösserung von 20—240. Alles in polirtem Kasten 95 fl.
- 10. Kleines Mikroskop. Grobe Einstellung durch Zahn und Trieb, feine durch Mikrometerschraube am Tische wirkend, Blendungsscheibe, Spiegel seitlich stellbar.

- Dazu 2 Objektive B und D; 2 Okulare; Vergrößerung von 40—240. Alles in polirtem Kasten 95 fl.
- No. 11. Kleines Mikroskop. Grobe Einstellung durch Schieben des Tubus aus freier Hand, feine durch Mikrometerschraube am Tische wirkend, Blendungscheibe, Spiegel einfach beweglich. Dann ein Objektiv-System D und 2 Okulare; Linearvergrößerung 120 und 240, in Kasten 50 fl.
- 12. Kleines Mikroskop, gleich wie No. 11; 1 Objektiv E und ein Okular; Linearvergrößerung 300, in Kasten 55 fl.
- 13. Kleines Dissections-Mikroskop; feststehender Tisch, Einstellung durch Zahn und Trieb, Spiegel nach allen Seiten stellbar, kann zum Beleuchten opaker Objekte benützt werden. Dazu 5 Objektiv-Linsen a, b, c und 2 Okularlinsen, Linearvergrößerung von 12—144. Da dieses Mikroskop aufrechte Bilder gibt, und der Abstand der Objektivlinse vom Objekte ein bedeutender ist, so ist mit Hülfe dieses Instrumentes das Zergliedern der Objekte ungemein erleichtert 55 fl.
- 14. Laboratorium-Mikroskop; feststehender, mit Glas eingelegter Tisch, grobe Einstellung durch Schieben des Tubus aus freier Hand, feine durch Mikrometerschraube. Das Objektiv-System befindet sich unter dem Objektische; durch ein Prisma mit doppelter Brechung wird das Bild zu dem etwas schief stehenden Okular geführt. Mit diesem Mikroskope arbeitet es sich sehr bequem. Dazu 3 Objektive und 3 Okulare. Vergrößerung von 20—500; in Kasten 200 fl.
- 15. Demonstrations-Mikroskop für Schulen. Es kann mit geklemmten Objekte von Hand zu Hand gehen, mit 3 Objektivlinsen a, b, c; 1 Okular. Vergrößerung von 30—120, in Kasten 30 fl.
- 16. Kleines Reise- oder Taschen-Mikroskop; feststehender Tisch, grobe Einstellung durch Schieben des Tubus aus freier Hand, feine durch Mikrometerschraube, Spiegel seitlich stellbar. Dazu 3 Objektiv-Systeme und 3 Okulare. Linearvergrößerung von 20—200. In elegantem Kästchen 120 Milimeter lang, 60 Mm. breit und 60 Mm. hoch 100 fl.
- 17. Plössl's grosses Mikroskop; runder Fuss, grobe Einstellung durch Zahn und Trieb, feine durch Mikrometerschraube; dieses Mikroskop ist um die optische Axe drehbar. Tisch mit Glas belegt, Zylinderblendung mit Schlitten. Doppelspiegel nach allen Seiten beweglich; Goniometerscheibe, Polarisationsapparat und Prisma zum Horizontal-Einsehen; 2 Glas-Mikrometer; sphärisches Beleuchtungsprisma auf Stativ. Dazu 4 Objektivsysteme A, C, F, J. und 5 Okulare. Vergrößerung 20—1250. Alles in elegantem Kasten 375 fl.
- 18. Plössl's mittleres Mikroskop, gleich wie No. 17, nur kleiner; grobe Einstellung durch Zahn und Trieb, feine durch Mikrometerschraube; das Mikroskop um die optische Axe drehbar. Tisch mit Glas belegt, Zylinderblendung mit Schlitten, Doppelspiegel nach allen Seiten beweglich. 2 Glas-Mikrometer. Sphärisches Beleuchtungsprisma. Dazu 3 Objektiv-Systeme B, E, I und 3 Okulare; Vergrößerung von 40—1250. Alles in elegantem Kasten 275 fl.
- 19. Plössl's kleines Mikroskop, runder Fuss, grobe Einstellung durch Zahn und Trieb, feine durch Mikrometerschraube, Tisch mit Glas belegt, Zylinderblendung mit Schlitten, Spiegel nach allen Seiten stellbar, 2 Glas-Mikrometer, Beleuchtungsline. Dazu 3 Objektiv-Systeme A, C, F; 3 Okulare; Linearvergrößerung von 20—800. Alles in polirtem Kasten 150 fl.
- 20. Plössl's grosses Präparir-Mikroskop, runder Fuss, feststehender mit Glas belegter Tisch, Einstellung durch Zahn und Trieb, Spiegel mit Doppelbewegung; 3 achromatische Linsen und 1 Okular; Linearvergrößerung von 24—300. Dieses Mikroskop gibt aufrechte Bilder, daher man Objekte sehr bequem präpariren kann. Alles in polirtem Kasten 85 fl.
- 21. Plössl's kleines Präparir-Mikroskop; runder Fuss, der mit Glas belegte Objektisch durch Zahn und Trieb gegen den Tubus verstellbar. Spiegel mit Doppelbewegung. 3 achromatische Objektivlinsen und 1 Okular; Linearvergrößerung von 20—150. Dieses Mikroskop gibt so wie No. 20 ebenfalls aufrechte Bilder. Alles in polirtem Kasten 65 fl.
- 22. Mikro-photographischer Apparat; grobe Einstellung des Tisches durch Zahn und Trieb, feine durch Schraube und Hebelbewegung; Condensator verstellbar. Als Beleuchtungsvorrichtung eine Hydroxygengas-Lampe. Dazu 3 Objektiv-Systeme B, D, F; Bildgrösse bis 260 Mm. im Durchmesser 200 fl.
- 23. Mikrophotographischer Apparat eigener Konstruktion, bestehend aus einem Mikroskope mit Charnier zum Umlegen, drehbarer mit Glas belegter Objektisch, grobe Einstellung durch Schieben des Tubus aus freier Hand, feine durch Mikrometerschraube; Zylinderblendung mit Schlitten, Spiegel in und ausser der Axe beweglich. Dazu 5 Objektiv-Systeme A, C, F, I, L; 5 orthoskopische Okulare; 2 Glas-Mikrometer; ein Prisma mit totaler Reflexion (die Hypotenuse wirkend). 2 Condensatoren; eine Camera, engl. System mit Trieb, welche sich circa 1½ Meter lang ausziehen lässt; Plattengrösse 450 Milimeter; eine sehr bequeme

- Vorrichtung, um die feine Einstellung des Mikroskops von 1 1/2 Meter Entfernung zu handhaben; 2 Cüvetten für Flüssigkeiten. Ein Heliostat mit Uhrwerk, da mit Sonnenbeleuchtung gearbeitet wird 650 fl.
- No. 24. Grosses Sonnen-Mikroskop, vier Zoll grosse Beleuchtungslinse, 6 Objectiv-Systeme, einfacher Heliostat, Lupe, Objekte etc. in elegantem Kasten . . . 220 fl.
- 25. Kleines Sonnen-Mikroskop, mit dreizölliger Beleuchtungslinse, 3 Objectiv-Systeme, Lupe, Objekte etc. einfacher Heliostat, in elegantem Kasten . . . 130 fl.
- 26. Photo-elektrisches Mikroskop eigener Konstruktion zu Vorstellungen geeignet; nebst galv. Elementen; Objekten etc. etc.
- Preis nach Uebereinkommen.
- 27. Polarisations-Mikroskop mit Saccharimeter, sehr bequem eingerichtet, in Kasten 75 fl.
- 28. Polarisations-Mikroskop nach *Nörremberg* neuester Konstruktion mit grossem Sehfelde, und Goniometer zum Messen der Axenwinkel der Krystalle . . . 80 fl.

Neue achromatische Objectiv-Systeme.

Nummer	Bezeichnung	Aequivalent-Brennweite		Öffnungswinkel		Vergrösserung bei 180 Mlm. Tubuslänge, für 250 Millim. Sehweite mit Okular:							Preis in östr. Wkg. fl.
		Zoll	Mlm.			Apla.	I.	II.	III.	IV.	V.	Voll-glas	
1.	A	1	26	25°	Trocken-System. —	10	20	24	30	40	50	—	12
2.					ditto mit Lieberkühn-Spiegel.								18
3.	B	1 1/2	13	40°	ditto —	20	40	48	60	80	100	—	14
4.					ditto mit Lieberkühn-Spiegel.								20
5.	C	1 1/3	9	65°	ditto —	40	80	96	120	160	200	—	16
6.					ditto mit Lieberkühn-Spiegel.								22
7.	D	1 1/4	7	85°	ditto —	60	120	144	180	240	300	—	20
8.	E	1 1/6	4,5	100°	ditto —	100	200	240	300	400	500	—	25
9.	F	1 1/9	3	105°	ditto —	150	300	360	450	600	800	1000	32
10.	G	1 1/12	2,25	105°	ditto —	200	400	480	600	800	1000	1200	45
11.	H	1 1/15	1,8	105°	ditto mit Korrektion.								75
12.	I	1 1/15	1,8	180°	Immersion-System ohne Korr.	250	500	600	750	1000	1250	1500	50
13.	J	1 1/15	1,8	180°	ditto mit „								75
14.	K	1 1/18	1,5	180°	ditto „	330	660	790	990	1320	1650	1980	105
15.	L	1 1/24	1,1	180°	ditto „	410	820	980	1230	1640	2050	2460	125
16.	M	1 1/36	0,75	180°	ditto „	500	1000	1200	1500	2000	2500	3000	150
17.	N	1 1/48	0,5	180°	ditto „	600	1200	1440	1800	2400	3200	3800	200

Okulare.

- No. 29. Einfache Okulare: I. II. III. IV. V. 6 fl.
- 30. Orthoskopische Okulare: I. II. III. IV. V. 9 fl.
- 31. Einfaches oder orthoskopisches Okular III. mit Vorrichtung, um das Glasmikrometer bequem einschieben zu können, um 3 fl. höher.
- 32. Aplanatisches Okular 12 fl.
- 33. Vollglas-Okular 8 fl.

No. 11.

Preisverzeichniss von Powell & Lealand in London.

(170, Euston Road.)

(1865.)

(Preise in Pfd. St.)

- No. 1. Grosses zusammengesetztes Mikroskop von verbesserter Konstruktion, mit einem 3/4" durch Schraube und Trieb rechtwinklig verschiebbaren und zugleich um die Axe rotirenden Objektisch (nebst Präparatenhalter und Federklemme), welcher sehr dünn ist, um die schiefste Beleuchtung zu gestatten, sei es durch den Spiegel

- oder ein achromatisches Prisma, und einen graduirten Kreis besitzt, um als Goniometer benutzt zu werden. Grobe und feine Bewegung des Rohrs; letzteres mit einer graduirten ausziehbaren Röhre. Sekundärer Objektisch mit rotirender, horizontaler und vertikaler Bewegung für den Gebrauch des achromatischen Kondensor, Paraboloid etc.; getheilte Platte mit einer Linse, um als Objektfinder zu dienen, einem ansehnlichen planen und konkaven Spiegel mit doppeltem Arme; 2 Okulare 32 Pfd. 10 Sh.
- No. 2. Grosses zusammengesetztes verbessertes Mikroskop mit einem um $\frac{3}{4}$ " durch Schraube und Trieb rechtwinklig verschiebbaren Objektisch, nebst verstellbarem und rotirendem Objekthalter mit Federklemme; grobe und feine Einstellung des graduirten und ausziehbaren Rohrs. Akzessorischer Objektisch mit rotirender rechtwinkliger und senkrechter Bewegung für Kondensor, Paraboloid etc.; ebener und konkaver Spiegel mit doppeltem Arme, wodurch sehr schiefes Licht auf das Objekt geleitet werden kann; 2 Okulare 22 Pfd.
- 3. Kleineres Mikroskop, in der Einrichtung dem vorigen ähnlich, mit einem um $\frac{3}{4}$ " verschiebbaren Tisch, 2 Okularen, Drehscheibe und Lister's Lichtstopfer, aber ohne den sekundären Objektisch und den doppelten Arm des Spiegels . . 16 Pfd.
- 4. Tragbares zusammengesetztes Mikroskop mit $\frac{3}{4}$ " Verschiebung des Tisches, einem verstellbaren und rotirenden Objekthalter nebst Federklemme; grobe und feine Bewegung, akzessorischer Tisch, ebener und konkaver Spiegel an doppeltem Arme, um sehr schiefe Beleuchtung zu erhalten; in Mahagonikasten . . 16 Pfd. 16 Sh.
- 5. Zusammengesetztes Mikroskop mit einem um $\frac{3}{4}$ " durch einen Hebel verstellbaren Objektisch, grober und feiner Bewegung, planem und konkavem Spiegel, Drehscheibe, Lister's Lichtstopfer und 2 Okularen 10 Pfd. 10 Sh.
- Das Gestell von Eisenguss 8 - -
- 6. Zusammengesetztes Mikroskop mit 2 achromatischen Linsensystemen von 1 und $\frac{1}{4}$ " und Oeffnungswinkel von 28 und 95°, 2 Okularen, doppeltem Spiegel, drehbarem Diaphragma und Lister's Lichtstopfer 12 Pfd. 10 Sh.
- 7. Zusammengesetztes Mikroskop für Studirende, mit den gleichen Linsensystemen, wie No 6, einem Okular und doppeltem Spiegel 10 Pfd. 10 Sh.
- Dissektionsstative 3 - 3 -
- Mahagonikasten für Mikroskop No. 1 4 - 4 -
- Kasten für die Instrumente No. 2 und 3 mit Laden für Objekte 4 - 10 -
- etc. etc.

Achromatische Linsensysteme für Mikroskope.

Linsensysteme	Oeffnungswinkel	Vergrößerung mit den Okularen					Preise		Lieberkühn'sche Beleuchtungs-Apparate
		1	2	3	4	5			
2"	14°	25	37	50	100	150	2	15	10
1 $\frac{1}{2}$ "	20°	30	56	74	150	220	3	0	10
1"	30°	57	74	100	200	300	3	3	8
2 $\frac{2}{3}$ "	32°	75	111	150	300	450	3	10	8
1 $\frac{1}{2}$ "	70°	100	148	200	400	600	5	0	5
1 $\frac{1}{3}$ "	80°	125	187	250	500	750	5	5	6
1 $\frac{1}{4}$ "	95°	200	296	400	800	1200	5	5	
1 $\frac{1}{4}$ "	130°	—	—	—	—	—	7	7	
1 $\frac{1}{4}$ "	145°	—	—	—	—	—	8	8	
1 $\frac{1}{5}$ "	100°	250	370	500	1000	1500	6	6	
1 $\frac{1}{8}$ "	130°	400	592	800	1600	2400	8	8	
1 $\frac{1}{12}$ "	145°	600	888	1200	2400	3600	10	10	
1 $\frac{1}{16}$ "	175°	800	1184	1600	3200	4800	16	16	
1 $\frac{1}{25}$ "	160°	1250	1850	2500	5000	7500	21	0	
1 $\frac{1}{50}$ "	150°	2500	3700	5000	10,000	15,000	31	10	

Hierzu noch eine Menge einzelner Apparate, darunter:

Wenham's stereoskopische Vorrichtung	8 Pfd.	10 Sh.
Verbesserter Kondensor mit 170° Oeffnungswinkel	8 -	8 -
- - - - - 100°	7 -	7 -
Beleuchtungslinsen von 1 Pfd. 4 Sh. bis	18 -	5 -
Polarisationsapparat	2 -	10 -
Goniometer	3 -	3 -
Mikrometerokular	1 -	5 -
Schraubenmikrometer	4 -	4 -
Okulare	von 15 Sh. an.	

No. 12.

Preisverzeichniss der Firma von **Thomas Ross** (Nachfolger von **Andrew Ross**), 53 Wigmore Street, Cavendish Square, London. W.

(1872.)

(Preise in Pfd. St.)

Zusammengesetzte Mikroskope.

- No. 1. Zusammengesetztes grosses Mikroskop mit graduirtem drehbarem Objektisch, einen Zoll in rechtwinkliger Richtung verschiebbär, grober und feiner Schraubenbewegung der Röhre, einer Vorrichtung, um das Instrument in jeder Stellung zu fixiren, einem akzessorischen beweglichen graduirten Objektisch zur Aufnahme und Einstellung von Kondensor, Polarisationsapparat; 2 Okulare; doppelter Spiegel; Drehscheibe; Objekthalter und 2 Glasplatten mit Leisten 30 Pfd.
- 2. Kleineres Stativ wie No. 1 B. mit rechtwinkliger Verschiebung der Tischplatte von $\frac{3}{4}$ " 20 Pfd.
- 2. Dasselbe ohne akzessorischen Tisch 15 -
- 2. Stativ ohne akzessorischen Tisch, feine Schraubenbewegung des Tisches; 2 Okulare; Linsensystem mit 25 und ein zweites mit 100° Oeffnungswinkel, als wesentlichen Bestandtheilen eines kompletten Mikroskops 18 Pfd. 11 Sh.
- 2. Komplizirter Tisch dazu 4 - 10 -
- 2. Feine Schraubeneinrichtung desselben 2 - 10 -
- 2. Akzessorischer Tisch mit Triebwerk 4 - 10 -
- 3. Kleineres Stativ mit komplizirtem beweglichem Tisch, feiner Schraubenbewegung und 2 Okularen 13 Pfd. 10 Sh.
- 3. Stativ mit einfachem, unbeweglichem Tische, 2 Okularen und 2 Linsensystemen $1''$ (von 15°) und $\frac{1}{4}''$ (von 100°) 14 Pfd. 15 Sh.
- 3. Komplizirter Tisch dazu 4 - - -
- 2. Feine Schraubenvorrichtung desselben 2 - - -
- 2. Akzessorischer Tisch 4 - - -
- Kasten für die Mikroskope von 7 Pfd. bis 1 Pfd. 10 Sh.
- Zusammengesetztes grosses Mikroskop zur Beobachtung lebender Wasserthiere, mit 4 Triebwerkseinrichtungen und 2 Okularen 15 - - Sh.
- Solches mit binocularer Vorrichtung . . . 21 Pfd. 12 Sh. 6 d. — 19 Pfd. 7 Sh. 6 d.

Linsensysteme.

(Die mit * bezeichneten besitzen eine Korrektionsvorrichtung.)

System	Oeffnungswinkel	Vergrößerung mit den sechs Okularen						Preise	Lieberkühn'sche Beleuchtungs-Apparate dazu
		A..	B.	C.	D.	E.	F.	Pf. Sh. d.	Pf. Sh. d.
5"	70	8	13	24	36	52	72	1 10 —	
4"	90	10	16	30	45	65	90	1 10 —	
3"	120	13	20	35	56	84	112	3 — —	
2"	150	20	32	55	90	135	180	3 — —	— 17 6
1½"	200	25	40	70	112	168	224	3 — —	— 17 6
1"	150	37	60	105	170	255	340	2 — —	— 15 —
1"	250	37	60	105	170	255	340	3 10 —	— 15 —
2/3"	350	60	100	145	270	405	540	3 10 —	— 10 6
*1½"	900	95	153	265	420	630	840	4 4 —	— 17 6
*4/10"	950	150	250	400	700	1000	1400	4 10 —	
*1/5"	1000	270	425	630	1200	1600	2200	5 5 —	
*1/5"	1200	195	310	540	850	1275	1700	5 5 —	
*1/10"	1400	550	840	1300	2400	3200	4400	7 7 —	
*1/15"	1700	900	1500	2200	3600	5400	6400	10 10 —	
*1/25"	1700	1300	2000	3000	5700	7600	10300	21 — —	

Für die Systeme $\frac{1}{8}$ und $\frac{1}{12}''$ kann noch eine andere Einrichtung geliefert werden, die an die Stelle der unteren Linse gesetzt, dieselben in Immersionssysteme verwandelt.

Immersionseinrichtung für $\frac{1}{8}''$ 2 Pfd. — Sh. — d.

— $\frac{1}{12}''$ 2 — 10 — 6 —

Nebenapparate

(im Auszug.)

Wenham's binokuläre Vorrichtung einfacherer Art	5 Pfd.	— Sh.	— d.
Dieselbe von komplizirter Beschaffenheit	5	10	—
Okulare A, B und C à	—	17	6
Okulare D, E und F à	1	—	—
Kellner's orthoskopische Okulare C und D à	1	5	—
Mikrometer-Okular	1	5	—
Schraubenmikrometer	5	10	—
Objekttismikrometer	—	7	—
Camera lucida von Wollaston	1	15	—
Polarisationsapparate von 2 Pfd. 10 Sh. an.			
Ross' achromatischer Kondensor	3	—	—
Gillett's achromatischer Kondensor	7	—	—
Paraboloid zur Beleuchtung auf dunklem Grunde	1	15	1
Einfache Linse mit dunklem Fleck, zur Prüfung von Testobjekten	—	10	6

No. 13.

Preisverzeichniss von Smith, Beck & Beck in London.

(31, Cornhill, E. C.)

(1859 und 1863.)

Die Instrumente sind in 3 Klassen getheilt und No. 1 (auf welche wir uns hier beschränken) die beste Qualität darstellend.

1. Verbessertes kleines Mikroskop; 3 Okulare, Systeme $\frac{2}{3}$ " (30⁰) und $\frac{1}{5}$ " (85⁰), Vergrösserungen 60, 105, 180, 240, 430 und 720. Bildumdrehendes Glas.
Die Leiste, welche den Körper trägt, ist am Gestell fortgesetzt bis unter den Tisch. Dieser hat einen beweglichen Zylindereinsatz, um alle Beleuchtungsapparate leicht und sicher einstellen zu können. Die Säule, welche den Körper trägt, hat ein Gelenk für schiefe Stellung, und ist auf ihrem Fusse drehbar. Der Körper hat grobe und feine Bewegung und eine graduirte Röhre. Der Tisch ist $\frac{1}{2}$ Zoll dick, und besitzt vertikale, sowie horizontale Bewegung, Drehscheibe und Klammern. Diaphragma mit drehbaren und zurückziehbaren Einsätzen. Planer und konkaver Spiegel auf beweglichem Arme. Seitliche Beleuchtungslinse, Lieberkühn'scher Apparat etc.; mit Kasten 30 Pfd.
2. Ein ähnliches Instrument, aber mit dem Gestell des verbesserten grossen Mikroskops, mit 2 Säulen etc. 35 Pfd.
3. Verbessertes kleineres Mikroskop mit 3 Okularen, 3 Objektivsystemen $\frac{2}{3}$ " (30⁰), $\frac{4}{10}$ " (55⁰) und $\frac{1}{5}$ " (100⁰) und zahlreichen Beigaben 50 Pfd.
4. Derselbe optische Theil mit dem Stativ des grossen Mikroskops 55 Pfd.
5. Vollständig verbessertes grosses Mikroskop mit 5 Linsensystemen, $1\frac{1}{2}$ Zoll (20⁰), $\frac{2}{3}$ " (30⁰), $\frac{4}{10}$ " (75⁰), $\frac{1}{5}$ " (100⁰) und $\frac{1}{8}$ " (120⁰), 3 Okularen, Vergrösserungen von 20—1300, Beleuchtungsvorrichtungen, verbessertem Kondensor, Polarisationseinrichtungen und zahlreichem Nebenapparat 84 Pfd.
6. Neues Universal-Mikroskop (1863) mit 2 Objektivsystemen (1" und $\frac{1}{4}$ ") und zwei Okularen 5 Pfd.

Einzelpreise von Linsensystemen (alle Systeme, welche stärker als $\frac{2}{3}$ Zoll sind, ausgenommen nur $\frac{1}{4}$ ", mit Korrekationsapparat):

2 Zoll	10 ⁰	1 Pf. 10 Sh. 6 d.	
$1\frac{1}{2}$	20 ⁰	3	10
1	22 ⁰	2	10
$\frac{2}{3}$	30 ⁰	3	3
$\frac{4}{10}$	55—75 ⁰	5	4
$\frac{1}{4}$	75 ⁰	2	10
$\frac{1}{5}$	85—100 ⁰	5	5
$\frac{1}{8}$	120 ⁰	8	8

(7 Pf. 7 Sh.)

(6 Pf. 6 Sh.)

Zahlreiche Stative und Nebenapparate.

No. 14.

Preisverzeichniss von **S. Highley** in London.

(70, Dean Street, Soho Square. W.)

(1862.)

Taschenlupe mit 2 Gläsern etc. in Schildpattfassung	12 Sh. 6 d.
Coddington's Lupe in Silber gefasst	15 Sh. — d.
Quecket's Taschen-Sektionsmikroskop mit 3 Linsen etc.	2 Pf. 10 Sh.
Beale's klinisches Taschenmikroskop	1 Pf. 5 Sh.
Highley's Schul-Mikroskop mit schief zu stellendem Stativ, Triebwerk etc. 2 Okularen und 2 Systemen, sonstigem Zubehör und Kasten	5 Pf. 5 Sh.
Highley's Schul-Mikroskop für Spitäler, mit magnetischem Objektisch, schief zu stellendem Stativ, planem und konkavem Spiegel, seitlichem Kondensor, Pinzette für den Objektisch etc., einem System von 1" und einem anderen von $\frac{1}{4}$ "; mit Kasten. Nach der Güte und dem Oeffnungswinkel der Linsensysteme im Preise wechselnd von	12 Pf. 10 Sh. — 7 Pf. 10 Sh. 6 d.
Zubehör zu dem vorigen Instrumente, bestehend in einem zweiten Okular, einem Beleuchtungsapparat bei hellem und verdunkeltem Sehfeld, Polarisationsvorrichtung, Camera lucida, Objektischmikrometer, Thierbehälter, Zoophytentrog etc. in Mahagonikasten	5 Pfd.
Highley's grosses Mikroskop, auf Brooke'schem Dreifuss ruhend; mit Triebwerkeinstellungen, Zentrirung unter dem Tisch, doppeltem Spiegel etc., alles von erster Qualität	10 Pfd.
Beale's Demonstrationsmikroskop (für Lehrer) mit Linsen etc. von verbesserter Konstruktion	3 Pfd.
Achromatische Linsensysteme: 2 Zoll (100) 1 Pfd. 1 Sh.; 1 Zoll (150) 1 Pfd. 1 Sh.; $\frac{1}{4}$ " (750) 1 Pfd. 11 Sh. 6 d.; 2 Zoll (120) 1 Pfd. 11 Sh. 6 d.; 1" (250) 2 Pfd. 10 Sh.; $\frac{1}{4}$ " (800) 3 Pfd. 3 Sh.; 2 Zoll (150) 2 Pfd. 10 Sh.; 1" (250) 3 Pfd. 3 Sh.; $\frac{1}{4}$ " (950) 4 Pf. 4 Sh.; $\frac{1}{6}$ " (1350) 6 Pf.; $\frac{1}{8}$ " (1500) 7 Pf. 7 Sh.	

No. 15.

Preisverzeichniss von **Ch. Baker** in London.

(243 und 244, High Holborn.)

No. 1. Zusammengesetztes Mikroskop; grösste Form mit allen neueren Verbesserungen, zwischen zwei Säulen aufgehangen; grobe Bewegung durch Zahn und Trieb, feine durch Mikrometerschraube; besonderer, durch Schrauben nach entgegengesetzten Richtungen einen Zoll weit beweglicher Objektisch, ein gleitender und rotirender Objekthalter, akzessorischer unterer Tisch zur Aufnahme der Blendungen, Polarisations- und Kondensorvorrichtungen etc.; doppelter Spiegel, 2 Okulare	21 Pf. — Sh. — d.
No. 1. A. Das gleiche Stativ, aber ohne den akzessorischen Tisch	14 - 10 - — -
No. 1. B. Stativ, nur kleiner, aber ganz gleich dem vorhergehenden	11 - 10 - — -
No. 1. B. ohne den beweglichen Tisch	7 - 15 - — -
No. 2. Kleineres Stativ mit beweglichem Tisch, doppelter Bewegung, Plan- und Konkavspiegel und 1 Okular	8 Pf. 15 Sh. — d.
Dasselbe ohne den beweglichen Tisch	3 - 15 - — -
Besondere Tische für die Gestelle No. 1. A, No. 1. B. oder No. 2 von 2	— - — - — -
No. 3. Binokuläres Stativ vollendeter Konstruktion mit 2 Okularen, doppeltem Spiegel, gleitendem Tisch und doppelter Bewegung zum Einstellen	5 Pf. 10 Sh. — d.
Dasselbe Stativ, die Okulare durch Schraube verstellbar	6 - — - — -
Wenham's binokuläre verbesserte Einrichtung für die bisher genannten Stative 5 Pf. Zu kleineren Studirmikroskopen	3 Pf. 10 Sh. — d.
No. 4. Studirmikroskop, doppelte Bewegung, gleitender Objekthalter, 3 achromatische Linsen etc. in Mahagonikasten	4 Pf. 4 Sh. — d.
No. 5. Schul-Mikroskop	3 - 3 - — -
Mahagonikasten	von 4—1 - 12 - 6 -
Reise-Mikroskop	2 - 5 - — -
Taschen-Mikroskop	2 - — - — -
Einfaches Mikroskop mit 3 Linsen	1 - 15 - — -

Lintensysteme, Vergrößerungen und Preise.

System	Oeffnungs- winkel	Vergrößerungen mit den verschiedenen Okularen				Preis		
		A.	B.	C.	D.	Pf.	Sh.	d.
3"	10 ⁰	17	28	41	50	1	15	—
2"	12 ⁰	25	35	58	70	1	10	—
2"	15 ⁰	25	35	58	70	1	17	6
1 1/2"	20 ⁰	32	54	75	90	1	17	6
1"	15 ⁰	56	76	128	158	1	10	—
1"	23 ⁰	56	76	128	158	1	17	6
1"	30 ⁰	56	76	128	158	2	2	—
2/3"	35 ⁰	66	91	132	183	2	5	—
1 1/2" mit Korr.	60 ⁰	120	168	280	387	3	—	—
1 1/2" ohne Korr.	40 ⁰	120	168	280	387	2	10	—
4/10" mit Korr.	70 ⁰	172	230	393	480	3	5	—
4/10" - -	95 ⁰	172	230	393	480	3	10	—
1/4" - -	75 ⁰	248	345	575	700	3	5	—
1/4" - -	95 ⁰	248	345	575	700	3	15	—
1/4" ohne Korr.	75 ⁰	225	312	445	615	2	10	—
1/8" mit Korr.	115 ⁰	348	558	870	1050	5	5	6
1/8" - -	125 ⁰	348	558	870	1050	6	6	—

Deutsche Linsensysteme	1 Pf. 2 Sh. 6 d. — 1 Pf. 6 Sh.
Lieberkühn'sche Beleuchtungsapparate von	6—15 Sh.
Beleuchtungslinsen von	7 Sh. 6 d. — 15 Sh. 6 d.
Gillett's achromatischer Kondensor	5 Pf. 5 Sh.
Neuer verbesserter Kondensor, auch für das binokuläre Mikroskop verwendbar	1 Pf. 10 Sh.
Parabolischer Kondensor von	1 Pf. 5 Sh. — 1 Pf. 10 Sh.
Derselbe mit Schraubenvorrichtung	1 Pf. 15 Sh.
Polarisationsapparate von	1 Pf. 5 Sh. — 1 Pf. 17 Sh. 6 d.
Okulare	6 Sh. — 12 Sh. 6 d.
Camera lucida	15 Sh. — 1 Pf.
Objektivmikrometer	4 Sh. 6 d.
Okularmikrometer in Messing gefasst	8 - 6 -
- ohne Messingfassung	6 - — -
Kompressorium	6 - 6 -
Objektfinder	4 - — -